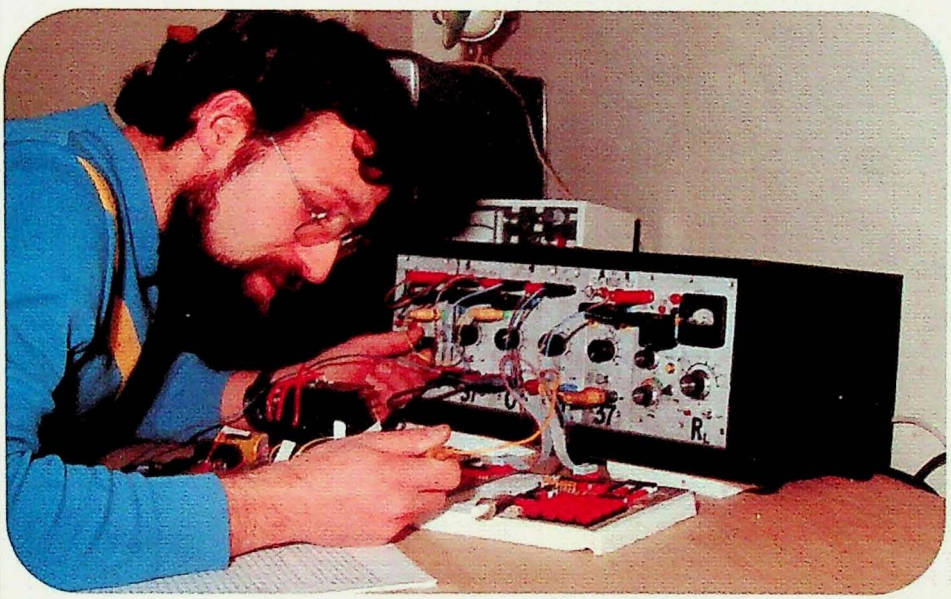
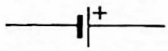
Rolf Birkholz

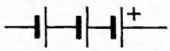
Das große Universal-spannungslabor

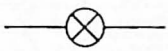


Stromversorgung in Einschubtechnik
für Hobby-Elektroniker und Profis

TELEKOSMOS ELEKTRONIK

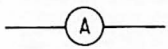

galvanisches Element, Akkuzelle

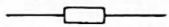

Batterie

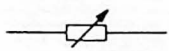

Lampe, allgemein

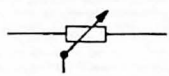
Meßinstrument, allgemein

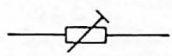
Spannungsmesser

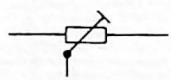

Strommesser

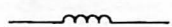

Widerstand, allgemein

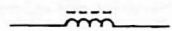

Widerstand, einstellbar

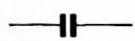

Potentiometer

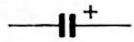

Trimmwiderstand


Trimmpotentiometer


Spule, allgemein


Spule mit HF-Eisen- bzw. mit Ferrit-Kern


Kondensator


Elektrolyt-Kondensator

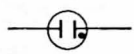
Schalter

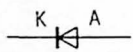
Stufenschalter

Taster mit Arbeitskontakt

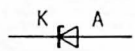
Taster mit Ruhekontakt

Transformator, Übertrager

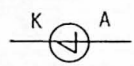

Glimmlampe



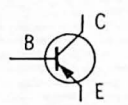
Diode



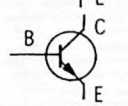
Z-Diode



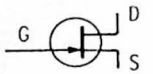
Vierschichtdiode



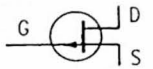
pnp-Transistor



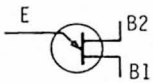
npn-Transistor



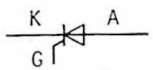
n-Kanal-FET



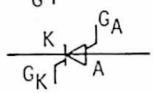
p-Kanal-FET



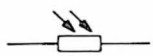
Unijunction-Transistor

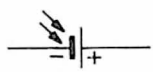


Thyristor



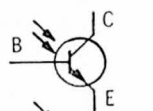
Thyristor-Tetrode


Fotowiderstand

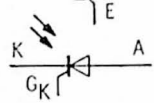


Fotoelement

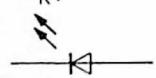
Fotodiode

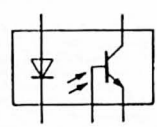


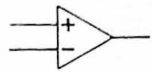
Fototransistor



Fotothyristor


Lu nineszenz-diode


Fotokoppler

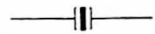


Operations-verstärker

Feinsicherung

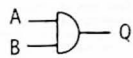
Masseanschluß

Relaiswicklung

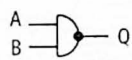

Quarz

Kopfhörer

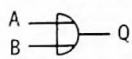
Lautsprecher



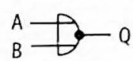
UND-Gatter



NAND-Gatter



ODER-Gatter



NOR-Gatter

Inverter

Das große Universalspannungslabor

Rolf Birkholz

Das große Universal-spannungslabor

Stromversorgung in Einschubtechnik
für Hobby-Elektroniker und Profis

Mit 16 Fotos auf 8 Tafeln
und 119 Strichzeichnungen,
sowie 6 Tabellen im Text

Telekosmos-Verlag
Franckh'sche Verlagshandlung
Stuttgart

Mit 16 Fotos auf 8 Tafeln von Dietmar Wiesner
und 119 Zeichnungen, sowie 6 Tabellen vom Verfasser

Umschlag von Edgar Dambacher unter Verwendung einer
Aufnahme von Uwe Höch

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek:

Birkholz, Rolf:
Das große Universalspannungslabor: Stromversorgung in Einschubtechnik für Hobby-Elektroniker u. Profis / Rolf Birkholz. – Stuttgart: Telekosmos-Verlag Franckh, 1980.
ISBN 3-440-04902-7

Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart/1980
Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.
© 1980 Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart
Printed in Germany/Imprimé en Allemagne
L 17PA Hgm/ISBN 3-440-04902-7
Gesamtherstellung: Brönner & Daentler KG, Eichstätt

Das große Universalspannungslabor

Zur Einführung 9

I. Die Grundkonzeption 12

1. Welche Anforderungen ein Labornetzgerät erfüllen muß ... 12

2. Blockschaltbild 25

3. Einzelschaltbilder und Bauelemente 31

II. Mechanischer Aufbau 35

1. Reihenfolge des Aufbaus 35

2. Aufbau der Leereinschübe 38

3. Aufbau der Gehäuserahmen 1 und 2 45

Einbau des Netzspannungshauptschalters in den Gehäuserahmen 1 51

Einbau des Netzspannungsverteilers in den Gehäuserahmen 1 54

III. Die Elektronik der Einschübe 57

1. Vorbemerkung 57

2. Hinweise und Tips für den Aufbau und die Zusammenschaltung der Bausteine 58

3. Der Aufbau der Einschübe für den Gehäuserahmen 1 66

Die Netztransformatoreinschübe 66

a. Schaltbildkurzbeschreibung 66

b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung 70

c. Anwendungsbeispiele für die Netztransformatoreinschübe 75

Die Netzgleichrichterzüge in einem Einschub 78

a. Schaltbildkurzbeschreibung 78

b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung 89

c. Anwendungsbeispiele für den Netzgleichrichtereinschub 94

Die Variable Last 98

a. Schaltbildkurzbeschreibung 98

b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung 110

c. Anwendungsbeispiele für die Variable Last 118

Die Elektronische Sicherung – zugleich ein Konstant-
spannungsregler 120
a. Schaltbildkurzbeschreibung 120
b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung 122
c. Anwendungsbeispiele für die Elektroinische Sicherung 129
4. Der Aufbau der Einschübe für den Gehäuserahmen 2 135
Die Konstantspannungsregler E1 und E2 135
a. Der integrierte Spannungsregler LM/μA723 135
b1. Schaltbildkurzbeschreibungen für E1 141
b2. Schaltbildkurzbeschreibung für E2 145
c. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung 149
d. Anwendungsbeispiele für die Konstantspannungregler
E1 und E2 160
Der Gleichspannungsverteiler F 162
a. Schaltbildkurzbeschreibung 162
b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung 162
c. Anwendungsbeispiele für den Gleichspannungsverteiler 164
Der Strom-/Spannungsmesser K 167
a. Schaltbildkurzbeschreibung 167
b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung 171
Der Nullspannungsnachsetzer E3 178
a. Schaltbildkurzbeschreibung 178
b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung 182
c. Anwendungsbeispiele für den Nullspannungsnachsetzer 188
Der Duale Spannungsteiler E4 189
a. Schaltbildkurzbeschreibung 189
b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung 194
c. Anwendungsbeispiele für den Dualen Spannungsteiler E5 201
Der Hochkonstantspannungsregler E5 202
a. Schaltbildkurzbeschreibung 202
b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung 203

IV. Inbetriebnahme und Erweiterungsmöglichkeiten 208
*1. Die Inbetriebnahme des Universal-Spannungslabors
als Gesamtanlage* 208
2. Erweiterungsmöglichkeiten 213
3. Zum Ausklang 215

V. Anhang 216
1. Formeln zum Thema 216
2. Bezugsquellen 218

VI. Sachregister 220

Zur Einführung

Über Gleichspannungsnetzgeräte zur Versorgung elektronischer Versuchsaufbauten, Bausteine und Geräte aller Art existiert eine unüberschaubare Fülle fachlicher Veröffentlichungen. Nicht minder vielfältig zeigt sich das Angebot an Niedervoltnetzgeräten unterschiedlichster Provenienz und Leistungsfähigkeit auf dem Elektronikmarkt. Hier sieht sich der Freizeitelektroniker dennoch einem Dilemma gegenüber: Einfachgeräte genügen trotz ihres zum Teil ansehnlichen Preises zumeist nur den Mindestanforderungen im Hobbylabor. Netzgeräte für gehobenere Ansprüche sind dagegen oft unerschwinglich teuer. Ihr Preis belastet das verfügbare Budget in vielen Fällen derartig, daß auf die Anschaffung eines kommerziellen Gerätes verzichtet werden muß. Statt dessen begnügt sich so mancher Freizeitelektroniker weiterhin mit mehr oder weniger behelfsmäßigen Spannungsreglerplatinen „aus der Bastelkiste"; solchermaßen selbstbeschränkt nach der Devise, daß auch fürderhin ausreichen wird, was als „Netzgerät" bislang hat ausreichen müssen. Sie leisten in den meisten Fällen ja auch das, was im Hobbylabor erforderlich ist – diese selbstgebauten Konstantspannungsregler – wenn es nur gelänge, die Behelfsmäßigkeit ihres Aufbaus nachhaltig zu überwinden. Denn sobald die Beschäftigung mit der Elektronik zu einem regelmäßigen Bestandteil der Freizeitgestaltung aufrückt, steigen gerade auch in Bezug auf die Spannungsversorgung die Ansprüche. Hinzu kommt, daß mit zunehmender Konkretisierung der Forderungen, die der Hobbyelektroniker an „sein" Netzgerät stellt, die Kritikfähigkeit gegenüber dem kommerziellen Angebot an Labornetzgeräten wächst. Der Wunsch, das eigene Labornetzgerät so auszulegen, daß es „alles kann, wozu man es braucht", entsteht somit wie von selbst. Erfüllbar ist dieser Wunsch eigentlich nur mit einem Selbstbaugerät, dessen Konzeption in vielerlei Hinsicht an den jeweiligen Bedarf angepaßt werden kann. Und dies, ohne die Finanzkraft allzusehr zu strapazieren.

Vor diesem Hintergrund entstanden Idee und Plan zum Selbstbau des nachfolgend in allen Einzelheiten beschriebenen Labornetzgerätes. Das Konzept war zunächst nur auf die Belange des Autors zugeschnitten, wuchs sich jedoch zu einem weitergreifenden Projekt aus, nachdem eine

Reihe sehr guter Erfahrungen mit dem Labornetzgerät vorlagen. Dies war nicht zuletzt auch eine Folge des Entschlusses, eine Bauanleitung über das Gerät abzufassen.

Die Beschreibung führte naturgemäß zu einer außerordentlich kritischen Überprüfung des Gesamtkonzeptes. So wurde beispielsweise die Gesamtordnung der einzelnen Bausteine des Labornetzgerätes nach vorwiegend handhabungstechnischen Gesichtspunkten überprüft, die Frontplattenauslegung nach einheitlichen Regeln verbessert und die HF-Festigkeit des Gerätes erhöht. Zum Teil wurden auch die elektronischen Einbauten optimiert und nochmals bis zur Anwendungsreife erprobt. Als Ergebnis ist ein Labornetzgerät entstanden, für dessen Funktionsfähigkeit sich der Autor verbürgt. Und nicht nur dies; demjenigen, der nicht nur nachbauen, sondern das Gerät selbständig weiterentwickeln oder ausbauen möchte, eröffnet sich ein breites Spektrum an Möglichkeiten.

Diese Einführung bliebe unvollständig ohne ein Wort zu den Schaltungen, die den einzelnen Bausteinen des Labornetzgerätes zugrundeliegen. Es handelt sich in allen Fällen um Schaltungen, die zum Grundlagenbestand der Fachliteratur gehören und damit jedermann zugänglich sind. Hinzugezogen wurden auch die Applikationen der Hersteller von integrierten Bausteinen, soweit diese wegen der Verwendung solcher im Netzgerät von Belang waren. Es besteht somit die Möglichkeit, daß ähnlich ausgelegte und dimensionierte Schaltungen auch Gegenstand dem Verfasser nicht bekannter Publikationen sind. Sofern wissentlich auf einen bestimmten Schaltungsentwurf zurückgegriffen wurde, ist die Quelle als Fußnote im Text angegeben. Gewissermaßen als Begleiterscheinung wurde dadurch erreicht, daß sich die Leistungsdaten des Gerätes in den heute üblichen Standards bewegen – wer das Gerät für den Eigenbedarf weiterentwickeln möchte, kann somit beliebige Schaltungsbeispiele hinzuziehen, sofern diese mit den Strom-, Spannungs- und Verlustleistungseckwerten der übrigen Bausteine korrespondieren.

An den Schluß sei ein Wort des Dankes an die Familie des Autors gestellt; denn sie hat mit viel Geduld und Verständnis dazu beigetragen, daß er so manche Stunde in den Aufbau und die Optimierung des Gerätes sowie in die Abfassung der vorliegenden Bauanleitung einzubringen vermochte. Ganz zu schweigen davon, daß die Beschaffung der notwendigen Materialien und Bauelemente letztlich ermöglicht wurde, ohne das Familienbudget allzusehr aus dem Gleichgewicht zu bringen.

All denen, die sich an den Nachbau begeben, sei daher der Wunsch Begleiter, daß sie am Ende über ein Labornetzgerät verfügen mögen, das sich nicht nur hinsichtlich des finanziellen Aufwandes mit so manchem kommerziell hergestellten Gerät messen kann, sondern zugleich ein Stück gestalteter Freizeit selbst darstellt.

Rolf Birkholz

I. Die Grundkonzeption

1. Welche Anforderungen ein Labornetzgerät erfüllen muß

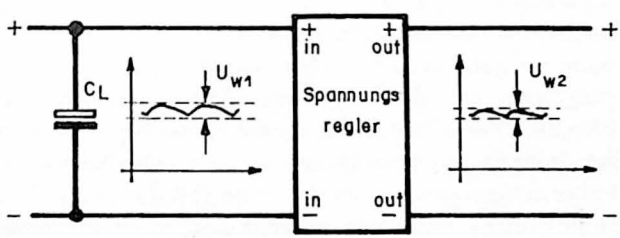
1.1 Wer sich in seiner Freizeit der Halbleiterelektronik verschrieben hat, weiß, daß Transistor- und IS-bestückte Schaltungen durchweg im Speisespannungsbereich zwischen 1,5 und 30 V betrieben werden. In denselben Bereich fällt aber auch der Betrieb einer Autorenn- oder einer Modelleisenbahn im Kinderzimmer. Kleinbohrmaschinen für die Platinenbearbeitung, Miniaturlötkolben für Feinlötarbeiten oder Ladeautomatiken für Kleinakkus und Autobatterien benötigen gleichfalls keine höheren Betriebsspannungen. Anders sieht es erst bei der Spannungsversorgung von Leistungsverstärkern aus. Dort sind Speisespannungen bis 60 V nichts Außergewöhnliches. Über 60 V hinausgehende Versorgungsspannungen sind jedoch selten. Sie kommen in der Halbleiterelektronik zwar auch vor, ihr Einsatz beschränkt sich dann aber meistens auf Spezialgebiete, die der Hobbyelektronik im allgemeinen verschlossen bleiben. Ein für die Grundausstattung des Freizeit-Elektroniklabors geeignetes Experimentiernetzgerät muß sich daher hauptsächlich in dem Spannungsbereich zwischen 0 und 60 V durch vielseitige Möglichkeiten zur Speisespannungsaufbereitung auszeichnen.
Mit dem vorliegenden Buch stellt der Autor ein derartiges Experimentiernetzgerät vor. Es ist für den Selbstbau gedacht und kann mit handelsüblichen Materialien und Bauelementen leicht nachgebaut werden. Das gilt auch für all jene, die erst am Anfang ihres Elektronikhobbys stehen und daher noch keine ausgefuchsten Freizeitelektroniker sind. Für die Grundausbaustufe müssen etwa 200 Mark aufgewendet werden; sie brauchen jedoch nicht in einer Summe, sondern können nach und nach investiert werden.
Die Gerätebezeichnung „Universal-Spannungslabor" wurde gewählt, um mit dem Namen zugleich auf das entscheidende Leistungsmerkmal des Gerätes – nämlich die Vielfalt seiner Anwendungsmöglichkeiten – aufmerksam zu machen.
Welche Anforderungen muß nun ein Experimentiernetzgerät erfüllen,

um als Universal-Labornetzgerät für die Freizeitelektronik gelten zu können?

1.2 Daß sich nicht jedes Gleichspannungsnetzteil unbesehen für universelle Zwecke im Laborbetrieb eignet, auch wenn der Fachhandel bisweilen Billiggeräte mit schier unerschöpflichen Leistungsreserven annonciert, liegt auf der Hand. Ebensowenig können für ein der Freizeitelektronik vorbehaltenes Experimentier-Netzgerät die professionellen Spezialnormen für Laborbetrieb gelten, wie sie etwa die Industrie im Rahmen von Forschung und Entwicklung einzusetzen pflegt.

Zum Einstieg wollen wir uns daher ganz einfach das Hauptproblem vor Augen führen, das sich allgemein bei der Spannungsversorgung von Halbleiterschaltungen stellt. Es besteht bekanntlich in der Temperaturabhängigkeit von Halbleitern und den damit verbundenen besonderen Maßnahmen zur Arbeitspunktstabilisierung dieser Bauelemente. Außer auf schaltungstechnischem Wege wird dieses Problem in der Regel durch den Einsatz stabilisierter Betriebsspannungen gelöst – Gleichspannungen also, die sowohl gegenüber Schwankungen der Netzwechselspannung als auch gegenüber Laständerungen im Verbraucherkreis weitgehend unempfindlich sind. Unser Universal-Labornetzgerät muß daher in allererster Linie dazu geeignet sein, den in der Hobbyelektronik auftretenden Bedarf an stabilisierten Niedervolt-Gleichspannungen erschöpfend abzudecken. In den meisten Fällen reicht es aus, wenn diese Gleichspannungen so stabil gehalten werden, daß sie bei Vollast (Laststrom ca. 2,5 A) um nicht mehr als 5 % vom Nominalwert abweichen. Beim Einsatz heutiger integrierter Spannungsregler gehören jedoch Abweichungen von weniger als 1 % bereits zum Standard. Damit ist es beispielsweise möglich, eine Gleichspannung von 12 V (Nominalwert) mit

Bild 1. Verhältnis zwischen U_{w1} und U_{w2}.



einfachen Mitteln so zu stabilisieren, daß sie sich bei Vollast allenfalls noch um 120 mV verringert, praktisch also konstant bleibt.
Erhöhte Anforderungen werden auch an die sogenannte „*Restwelligkeit*" der Speisespannung von Halbleiterschaltungen gestellt. Die Restwelligkeit – auch Restbrumm genannt – bezeichnet die Spannungsamplitude U_{W2} des der Ausgangsgleichspannung eines Netzgerätes überlagerten Wechselspannungsrestes. Die Höhe dieser Amplitude ist vom Siebfaktor des eingesetzten Spannungsreglers abhängig (vgl. Bild 1). Der Siebfaktor gibt an, welcher Bruchteil des am Ladekondensator C_L des Netzgerätes auftretenden Wechselspannungsrestes U_{W1} am Ausgang des nachgeschalteten Konstantspannungsreglers vorliegt (U_{W2}). Integrierte Spannungsregler weisen heute eine Brummspannungsunterdrückung von bis zu 85 dB auf. Dies ermöglicht es, eine Welligkeitsspannung U_{W1} von 1 V_{SS} (lies: 1 Volt, Spitze/Spitze) auf Werte $\leqq$ 500 µV zu bedämpfen – ein Leistungsmerkmal, das sich beispielsweise bei der Erprobung von Verstärkerschaltungen hoher Empfindlichkeit (Antennenverstärker, ZF-Verstärker o.ä.) außerordentlich günstig auswirkt.
Zu den unverzichtbaren Forderungen an ein Universal-Labornetzgerät für die Freizeitelektronik gehört darüberhinaus die *Kurzschlußfestigkeit* der Gleichspannungsausgänge. Diese schützt das Speisegerät vor unbeabsichtigter Überlastung (z.B. bei verbraucherseitigen Kurzschlüssen infolge von Verdrahtungsfehlern). Und nicht nur dies: die Kurzschlußfestigkeit wirkt sich in den meisten Fällen auch günstig für den angeschlossenen Verbraucher aus, weil diesem beim Ansprechen der Strombegrenzungsautomatik die Speisespannung entzogen wird, ein Vorzug, den wohl jeder zu schätzen weiß, dem schon einmal eine Platine infolge zu hohen Betriebsstromes „unter den Händen gestorben" ist; zumal dies bekanntlich immer gerade am Wochenende oder dann passiert, wenn der Elektronikladen schon geschlossen hat.
Schließlich erhöht es die Vielseitigkeit und den Bedienungskomfort eines Speisespannungsgerätes beträchtlich, wenn sowohl die Ausgangsspannung als auch der Laststrom mit der Hand voreingestellt und dadurch paßgenau auf den einzelnen Anwendungsfall abgestimmt werden können. Dies gilt nicht nur für die Spannungsversorgung von Halbleiterschaltungen. Wenn man nun schon an den Selbstbau eines Universal-Labornetzgerätes herangeht, dann soll dieses Gerät natürlich auch für anderweitige Zwecke einsetzbar sein, in denen Niedervoltgleichspan-

nungen benötigt werden. Der Verfasser hat es sich beispielsweise zur Regel gemacht, selbst gebaute Meßgeräte nicht mehr mit platz- und bauelementeaufwendigen Netzteilen auszustatten. Am Prüfplatz benötigte Meßgeräte werden statt dessen nur noch mit der auf den jeweiligen Wert voreingestellten Speisespannung versorgt und sind sofort betriebsbereit. Gute Dienste leistet diese Einstellbarkeit auch beim Laden von Akkus aller Größen. In Verbindung mit einem Strombegrenzungswiderstand und einer Schaltuhr läßt sich das Labornetzgerät dann an die unterschiedlichsten Ladebedingungen anpassen. Auf ein jeweils besonders spezifiziertes Akku-Ladegerät kann somit verzichtet werden. Ist das Labornetzgerät darüberhinaus für Lastströme zwischen 5 und 10 A ausgelegt, wird auch das Laden der Auto- bzw. Motorradbatterie kein aufwendiges Problem mehr sein.

1.3 Neben diesen vorwiegend auf die besonderen Bedingungen der Spannungsversorgung von Halbleiterschaltungen abgestellten Anforderungen muß ein Experimentier-Netzgerät auch möglichst vielseitig an die praktischen Bedingungen im Hobbylabor anpaßbar sein. Da sind plötzlich mehrere Speisespannungen gleichzeitig erforderlich; manchmal bedarf es aber auch nur einer nichtstabilisierten, pulsierenden Gleichspannung. Oder es sollen für die Ansteuerung von Zählschaltungen auf unkomplizierte Weise Taktfrequenzen aus der Netzwechselspannung abgeleitet werden. Dann wieder kommt man mit dem Laststrom einer Speisespannungsquelle nicht aus, eine zweite muß für die Parallelschaltung zur Verfügung stehen. Mit Operationsverstärkern bestückte Schaltungen benötigen überdies in vielen Fällen symmetrische Speisespannungen; woher nehmen, wenn das Labornetzgerät sie nicht bereitstellt? Kurzum – ein Labornetzgerät für den Hobbyelektroniker hat eine Vielzahl zusätzlicher Leistungsmerkmale aufzuweisen, die sich einerseits aus der Anwendungspraxis, andererseits aus den Bedingungen des Selbstbaues ergeben. Wenden wir uns deshalb nun den Leistungsmerkmalen zu, mit denen das im folgenden beschriebene Universal-Labornetzgerät ausgestattet ist. Zunächst wollen wir uns die technischen Daten vor Augen führen. Anschließend werden die Leistungsmerkmale behandelt, die sich aus den konstruktiven Eigentümlichkeiten des Gerätes ergeben.

1.4 Die technischen Leistungsdaten des Universal-Spannungslabors umfassen alle Angaben über die elektrischen Eigenschaften des Gerätes. Sie

sind der Übersichtlichkeit halber in der Tabelle 1 zusammengestellt. Der stichwortartigen Auflistung in dieser Tabelle seien zum besseren Verständnis einige Anmerkungen hinzugefügt.

- Die *galvanische Trennung* aller Niederspannungen von der Netzwechselspannung ist in erster Linie eine Maßnahme zur Gewährleistung der Betriebs- und Handhabungssicherheit bei der Arbeit mit dem Labornetzgerät. Hierzu werden Trenntransformatoren als Netztransformatoren eingesetzt. Durch solche Transformatoren wird aufgrund der galvanischen Trennung von Primär- und Sekundärspannungen vor allem verhindert, daß unbeabsichtigte Kurzschlüsse auf der Verbraucherseite unmittelbar auf das Wechselstromnetz zurückwirken. Außerdem erreicht man damit eine beträchtliche Zunahme an Berührungssicherheit – Voraussetzung für ein gefahrloses Hantieren an und mit dem Labornetzgerät.
- Hinter der *Erdfreiheit der Spannungsausgänge* verbirgt sich das Verfahren, keinerlei leitende Verbindung zwischen den Minuspolen der einzelnen Gleichspannungsausgänge und dem an Erdpotential liegenden Leiter des Wechselspannungsnetzes herzustellen. In der Praxis erreicht man dies einfach dadurch, daß der Minuspol jedes Gleichspannungsausganges auf eine gegenüber dem Chassis voll isolierte Buchse geführt wird und auch innerhalb des Gerätes keinerlei galvanische Verbindung zwischen der Minusleitung und dem Chassis besteht. Diese Methode erlaubt beispielsweise, die Ausgänge mehrerer im Universal-Spannungslabor enthaltener Konstantspannungsregler zur Spannungsvervielfachung in Serie oder zur Stromvervielfachung parallel zu schalten. Auf diese Weise können mit dem Netzgerät leicht stabilisierte Speisespannungen bis zu 100 V erzeugt werden, obwohl die Halbleiter der einzelnen Konstantspannungsregler nur für Betriebsspannungen bis zu 40 V ausgelegt sind.

Tabelle 1 Überblick der Leistungsdaten des Universal-Spannungslabors

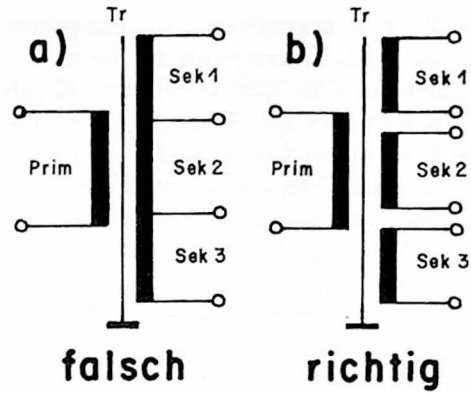
1. Galvanische Trennung aller Niederspannungen vom Wechselstromnetz
2. Erdfreiheit aller Speisespannungsausgänge
3. Unterdrückung hochfrequenter Störeinstrahlungen in das

Wechselstromnetz bei Betrieb HF-führender Schaltungen am Labornetzgerät

4. Verbraucherseitige Unterdrückung impulsförmiger Störeinstrahlungen aus dem Wechselstromnetz
5. Kurzschlußfestigkeit aller Spannungsausgänge für stabilisierte Speisespannungen einschließlich Möglichkeit zur Zwischenschaltung einer einstellbaren elektronischen Überstromsicherung
6. Bereitstellung abgestufter Niederwechselspannungen zwischen 4 und 60 V, Mindestbelastbarkeit 3,5 A, Höchstbelastbarkeit 8 A
7. Gleichzeitigkeitsbetrieb für mindestens 3 Spannungsversorgungszüge mit stabilisiertem Speisespannungsausgang
8. Abgreifbare Gleichspannungsformen:
   a) pulsierende, nicht geglättete Gleichspannung 4 – 62 V/ 3,5 A oder 2 x 12 V/8 A
   b) pulsierende, geglättete Gleichspannung 5 – 85 V/3,5 A oder 2 x 12 V/8 A
   c) Stabilisierte Gleichspannung, regelbar
      3 x 7,5 – 37 V/ 2,75 A, Lastausregelung 1 %, Restwelligkeit 500 µV
      2 x 1,5 – 5,5 V/2,75 A; Lastausregelung 1 %; Restwelligkeit 500 µV
      Alle stabilisierten Spannungen können asymmetrisch und symmetrisch abgegriffen werden; zur Rückregelung auf 0 V kann ein Nullspannungs-Nachsetzer jedem Konstantspannungsregler nachgeschaltet werden.
   d) Negative Hilfsspannungserzeugung in jedem Spannungsversorgungszug ohne zusätzliche Transformatorwicklung
9. Variable Last zur Simulation stetiger, sprunghafter oder periodischer Lastschwankungen auf der Verbraucherseite
10. Strom-/Spannungsmesser mit Mehrbereichsumschaltung (10 mA – 5 A/15 – 120 V)
11. Aufbau in Modultechnik mit separatem Ein-/Ausgang je Modul

- Ein Labornetzgerät wird nicht nur für die Speisung von NF-Bausteinen benutzt. Oftmals werden auch Hochfrequenz erzeugende Schaltungsaufbauten (z.B. eine Quarzzeitbasis, ein HF-Oszillator, ZF-Verstärker o.ä.) mit dem Gerät gespeist. Bei diesen Schaltungen kann nicht immer ausgeschlossen werden, daß Teile der Hochfrequenz auf kapazitivem oder induktivem Wege in das Wechselstromnetz zurückkoppeln und u.U. empfindliche Störungen in benachbarten Rundfunkempfängern hervorrufen. Dies schafft gemeinhin Ärger und Verdruß bei den Betroffenen – Mißhelligkeiten, denen man durch Erhöhung der HF-Festigkeit des Labornetzgerätes aus dem Wege gehen kann. Erreicht wird dies mit Hilfe sogenannter Breitbandentstörfilter, die HF-Einstrahlungen in das Wechselstromnetz wirksam unterdrücken.
- Beinahe ebenso unangenehm und in manchen Fällen funktionshemmend wirkt es sich aus (z.B. bei TTL-bestückten Schaltungen), wenn impulsförmige Störeinstrahlungen aus dem Wechselstromnetz auf den Verbraucherstromkreis durchschlagen. Wird dies verhindert, d.h. werden diese Störspannungen durch entsprechend dimensionierte RC-Netzwerke so weit bedämpft, daß sie verbraucherseitig vernachlässigt werden können, spricht man von erhöhter TTL-Festigkeit des Speisespannungsgerätes.
- Über die Vorteile der Kurzschlußfestigkeit der Gleichspannungsausgänge wurde bereits unter Nr. 1.2 gesprochen. Sie wurde daher bei allen Bausteinen des Labornetzgerätes berücksichtigt, die stabilisierte Speisespannungen erzeugen oder „weiterverarbeiten" (z.B. auf Null herunterregeln, in symmetrische Spannungen umsetzen o.ä.). Diese Bausteine sind durchgehend so dimensioniert, daß der Laststrom auf Werte wenig unterhalb von 3 A begrenzt wird. In bestimmten Anwendungsfällen kann darüberhinaus auf eine schnellschaltende elektronische Sicherung zurückgegriffen werden, bei der der jeweilige Abschaltwert mit der Hand voreingestellt werden kann.
- Mit dem nächsten in der Tabelle 1 enthaltenen Leistungsmerkmal, der Abgreifbarkeit von abgestuften Niederwechselspannungen, wird summarisch darauf hingewiesen, daß die Umsetzung der Netzwechselspannung nach ganz bestimmten Gesichtspunkten erfolgt. Als Netztransformatoren werden nämlich sogenannte Experimentier- oder Ladetransformatoren eingesetzt, die nicht nur eine auf den jeweiligen Einzelfall abgestimmte Sekundärspannungsauswahl erlauben, son-

Bild 2. Herausführung der Sekundärwicklungen der Netztransformatoren.



dern auch für die Entnahme unterschiedlicher Lastströme (3,5 A und 8 A) ausgelegt sind. Bei der Beschaffung dieser Transformatoren muß (neben dem Tatbestand, daß es sich um Trenntransformatoren handelt) insbesondere berücksichtigt werden, daß die einzelnen Sekundärwicklungsanschlüsse getrennt herausgeführt sind (vgl. die Falsch/Richtig-Darstellung in Bild 2). Bei Herausführung der Wicklungsenden der einzelnen Sekundärwicklungen gemäß *Bild 2b* und entsprechender Dimensionierung der einzelnen Sekundärwicklungen können durch Serienschaltung mehrerer Wicklungen nämlich beliebige Sekundärspannungswerte zwischen 4 und 60 V abgegriffen werden. Die getrennte Herausführung der Sekundärwicklungen ist auch deshalb erforderlich, weil in vielen Fällen mehrere voneinander unabhängige Sekundärspannungen gleichzeitig zur Verfügung stehen müssen (z.B. soll der Kleinlötkolben durchaus in Betrieb bleiben, während ein Schaltungsaufbau zur Funktionsprüfung gleichzeitig am Netzgerät betrieben wird).

– Damit ist auch die Voraussetzung für den Gleichzeitigkeitsbetrieb von mindestens 3 stabilisierten Gleichspannungen gegeben. Zusätzlich ist jedoch erforderlich, daß die Netzgleichrichterstufe mit den zugehörigen Siebgliedern in dreifacher Ausführung vorhanden ist; sie ist daher entsprechend dimensioniert. Dasselbe trifft für die Konstantspannungsregler zu; auch sie sind mehrfach im Labornetzgerät vorgesehen.

- Zu den abgreifbaren Spannungsformen bedarf es hier keiner ergänzenden Anmerkungen; die in der Tabelle 1 angegebenen Daten sprechen für sich. Detaillierte Angaben können darüberhinaus den Schaltbildbeschreibungen im dritten Abschnitt entnommen werden.
- Ein Labornetzgerät wird immer wieder dazu herhalten müssen, bestimmte Verbraucher auf ihre Belastbarkeit hin zu prüfen. Für solche Fälle und auch dann, wenn einzelne Bausteine des hier beschriebenen Labornetzgerätes selbst unter Belastung geprüft werden sollen (z.B. Konstantspannungsregler), leistet eine *Variable Last* nützliche Dienste. Unter einer Variablen Last (in der Fachliteratur auch Dummy Load genannt) hat man sich im vorliegenden Falle einen als Wirkwiderstand betriebenen Leistungstransistor vorzustellen, dessen Widerstandswert zwischen Bruchteilen eines Ohm und mehreren Megaohm verändert werden kann. Bei der hier zugrundeliegenden Dimensionierung lassen sich verbraucherseitige Lastströme zwischen 4 mA und 5,5 A einstellen. Dabei kann der als Wirkwiderstand betriebene Transistor eine Verlustleistung von maximal 100 W aufnehmen. Diese Verlustleistung würde beispielsweise in einem Verbraucherstromkreis erreicht, in dem bei einer Speisespannung von 20 V ein Laststrom von 5 A gemessen wird.
- Schließlich ist das hier beschriebene Labornetzgerät mit einem Gleichspannungs/Gleichstrommeßeinschub ausgestattet, um die Werte der jeweils abgegriffenen Gleichspannung und des Gleichstromes anzeigen zu können. Hierzu sind die zugehörigen Meßwerke durch Bereichsumschaltung an die jeweiligen Betriebsbedingungen anpaßbar. Wer über genügend externe Meßgeräte verfügt, kann auf diesen Baustein verzichten und den dadurch gewonnenen Platz ggf. für Bausteine eigener Auswahl nutzen.

1.5 Soweit das Thema „Technische Leistungsdaten"! – Die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Labornetzgerätes erweist sich nun aber nicht nur darin, was es technisch hergibt. Eine ebenso wichtige Rolle spielen seine konstruktiven Eigentümlichkeiten; denn von diesen werden die Verfahrenstechniken beim Einsatz des Gerätes im Experimentier- und Laborbetrieb maßgeblich mitbestimmt.

Ihren Ausgangspunkt haben die konstruktiven Leistungsmerkmale des hier vorgestellten Labornetzgerätes in dem Tatbestand, daß nahezu alle zur Gewinnung stabilisierter Gleichspannungen ausgelegten Netzteile

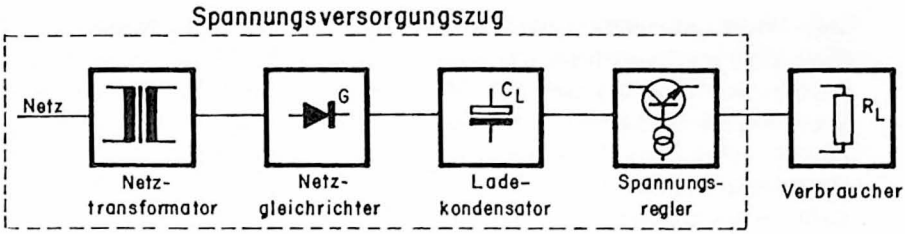


Bild 3. Prinzipieller Aufbau eines Gleichspannungsnetzteiles.

prinzipiell denselben Grundaufbau aufweisen. *Bild 3* dient dazu, dies zu veranschaulichen.

Danach besteht ein Gleichspannungsnetzteil aus mehreren in Serie geschalteten Stufen, die zusammengenommen einen „Spannungsversorgungszug" bilden. Erst dessen Ausgangsspannung dient zur Speisung des Verbrauchers R_L. Wesentlich an der in *Bild 3* gezeigten Anordnung der einzelnen Stufen ist, daß diese – um die angestrebte Speisespannung zu erzeugen – stets in derselben Reihenfolge hintereinandergeschaltet werden müssen.

Wir wollen nun einmal unterstellen, der in *Bild 3* dargestellte Spannungsversorgungszug würde um die letzte Stufe vor dem Verbraucher, das ist die Spannungsreglerstufe, reduziert. Dies würde zur Folge haben, daß der Verbraucher R_L nicht mehr mit stabilisierter sondern nur noch mit unstabilisierter Speisespannung versorgt würde, hätte aber auf die Normalfunktion der übrigen Netzteilstufen keinerlei Einfluß. Trennten wir nun auch noch den Ladekondensator ab, würde die am Netzgleichrichter stehende pulsierende Gleichspannung nicht einmal mehr geglättet. Dies hätte jedoch wiederum keinerlei Einfluß auf die Normalfunktion des Netzgleichrichters oder der Netztransformatorstufe. Dasselbe Resultat ergäbe sich schließlich für den Netztransformator, wenn auch noch der Netzgleichrichter eleminiert würde, mit anderen Worten: Die einzelnen Stufen des Spannungsversorgungszuges können ohne weiteres als elektrisch voneinander unabhängige, in ihrer Grundfunktion selbständige Bausteine aufgefaßt werden. Einen Spannungsversorgungszug bilden sie erst dann und nur dann, wenn sie in der nach *Bild 3* angegebenen Reihenfolge zusammengeschaltet sind.

Sofern man sie mit den für eine galvanische Kopplung geeigneten Ein-

und Ausgangsklemmen/-buchsen ausstattet, können diese Bausteine dann auch mechanisch als von einander unabhängige Baugruppen betrachtet werden. Sie lassen sich demzufolge als Einzeleinschübe eines übergreifenden Labornetzteil-Systems aufbauen, das nicht nur den Betrieb eines einzigen, sondern mehrerer Spannungsversorgungszüge gleichzeitig erlaubt. Das hier beschriebene Selbstbau-Labornetzgerät läuft am Ende somit auf ein die Vorteile der Modultechnik[1] nutzendes, baukastenförmiges Schaltfeld hinaus, in dem die einzelnen Baugruppen in der für den gleichzeitigen Betrieb mehrerer Gleichspannungszüge erforderlichen Anzahl vorhanden sind. Mit Hilfe von Schaltschnüren können die einzelnen Baugruppen dann je nach Bedarf zu Gleichspannungsnetzteilen spezifischer Leistungsfähigkeit zusammengestellt werden.

1.6 Mit der Entscheidung für den einschubweisen Aufbau des Universal-Spannungslabors sind seine konstruktiven und für die Anwendungspraxis bedeutsamen Leistungsmerkmale somit weitgehend vorgezeichnet. Insgesamt gesehen geht es dabei um die nachfolgend dargestellten konstruktiven Leistungsmerkmale:

- Da das klassische Mittel der Verwendung von Stufenschaltern oder Drucktastenaggregaten für die Zusammenschaltung der einzelnen Spannungsversorgungszüge wegen des einschubförmigen Aufbaus des Labornetzgerätes ausscheidet, werden für diesen Zweck ausschließlich einpolige, ihrer Farbgebung und Länge nach standardisierte Schaltschnüre herangezogen. Die Ein- und Ausgänge der einzelnen Einschübe sind analog dazu mit Apparateklemmen[2] versehen, die sowohl in der Farbgebung ihrer Isolierstoffklappen als auch in ihren Abmessungen mit denen der Schaltschnüre übereinstimmen.
- Die Verwendung von Schaltschnüren bei der Zusammenschaltung der Baugruppen kann zu Schaltfehlern (insbesondere Verpolungsfehlern)

[1] Die wesentlichen Vorteile der Modultechnik bestehen in der Austauschbarkeit von Einschüben und der damit verbundenen Reparaturfreundlichkeit jedes Einzeleinschubes. Das Innenleben jedes Einschubes kann außerdem problemlos dem neuesten Stand der Entwicklung angepaßt werden (z.B. durch Auswechseln der Reglerplatine), weil die Gesamtverdrahtung des Gerätes keinerlei Hemmnis darstellt.

[2] Apparateklemmen sind nur ausgangsseitig und immer dann vorhanden, wenn der Ausgang zum Anschluß von Verbrauchern dient. An diese Klemmen kann z.B. auch einmal eine nicht mit Steckern versehene Speiseleitung angeklemmt werden.

führen. Bei allen Einschüben mit Gleichspannungseinspeisung ist daher platinenseitig die Möglichkeit vorgesehen, eingangsseitig eine Leistungsdiode als Verpolungsschutz dazwischenzuschalten.

- Um die Zusammenschaltung der einzelnen Einschübe auch ohne vorhergehendes Einzelstudium der jeweiligen Schaltpläne bewerkstelligen zu können, wird ihr „Innenleben" zur pictogrammförmigen Auslegung der Frontplattenbeschriftung herangezogen. Das pictogrammförmige Frontplattendesign bewahrt jedoch nicht davor, im Zweifel dennoch auf die entsprechenden Schaltunterlagen oder die in den folgenden Abschnitten enthaltenen Anwendungsbeispiele zurückzugreifen.
- Die einzelnen Einschübe sind in zwei Gehäuserahmen untergebracht. An ihrem Einbauort sind sie mit leicht lösbaren Schrauben fixiert. Nach Entfernung der Befestigungsschrauben kann jeder Einschub nach vorne aus dem Gehäuserahmen herausgezogen werden. Dies erleichtert das Auswechseln defekter Halbleiter und begünstigt sonstige Reparaturarbeiten oder Konstruktionsänderungen an den elektronischen Einbauten des Einschubes.
- Es gibt kein elektronisches Gerät, daß nicht trotz diverser Schutzeinrichtungen überlastet werden könnte. Dies gilt besonders für ein Experimentiergerät der hier beschriebenen Art. Da bei Überlastung in der Regel zuerst die betroffenen Halbleiter „ihren Geist aufgeben", sind alle Platinen der Einschübe für die Bestückung mit Transistor- und IS-Fassungen vorbereitet. Dadurch sind beim Auswechseln der Halbleiter Lötarbeiten unnötig; sonst damit u.U. verbundene Beschädigungen der Leiterbahnen werden auf diese Weise vermieden.
- In einer Reihe von Einschüben sind Leistungstransistoren auf Hochleistungskühlkörpern enthalten. Wegen des einschubförmigen Aufbaus des Netzgerätes wird auch hier von Einzelkühlkörpern Gebrauch gemacht; anderenfalls hätten mehrere Leistungstransistoren auf einem entsprechend größer dimensionierten Kühlkörper montiert werden müssen. Um nun Kurzschlüsse zwischen den Kollektorpotential (positiv) führenden Kühlkörpern und den an Massepotential des 220 V-Netzes liegenden Chassis der einzelnen Einschübe zu vermeiden, müssen die Kühlkörper gegenüber den Chassis isoliert montiert werden. In allen Fällen, in denen dieses Erfordernis besteht, ist die Leiterplatine in ihren Abmessungen daher so gehalten, daß sie gleich-

zeitig als Kühlkörperträger benutzt werden kann. Hierzu wird der Kühlkörper mittels 5 mm langer Abstandrollen mit der Platine verschraubt (vgl. *Bild 18).*

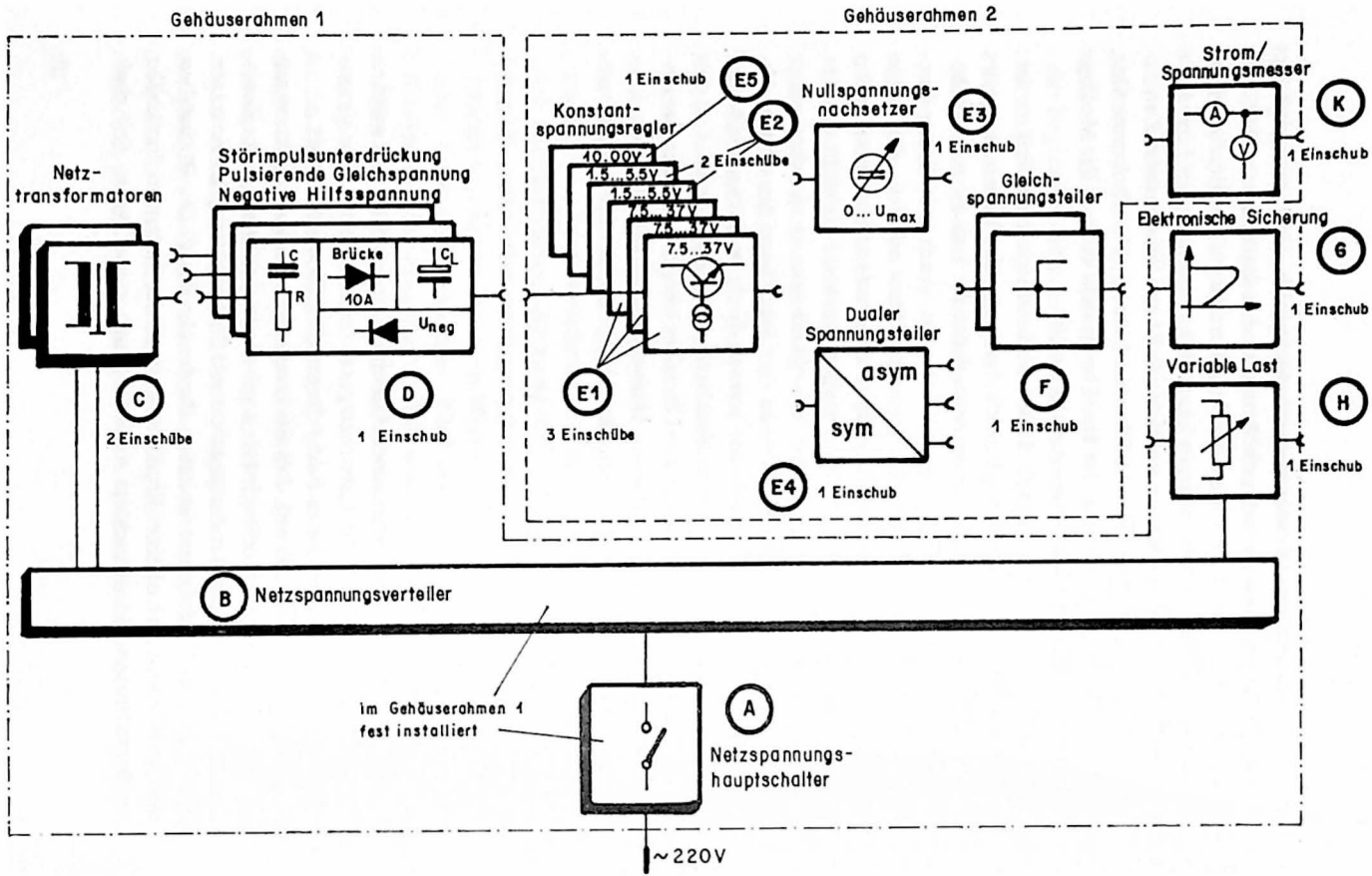
- Die einzelnen Konstantspannungsregler des Labornetzgerätes können mit Lastströmen bis zu 2,5 A im Dauerbetrieb belastet werden. Bei höheren Lastströmen reicht die Kühlung des Leistungstransistors nicht mehr aus. Der jeweilige Hochleistungskühlkörper kann wegen der begrenzten Abmessungen des zugehörigen Einschubes aber auch nicht beliebig vergrößert werden. Um dennoch im Einzelfall über 2,5 A hinausgehende Lastströme entnehmen zu können, ist in den in Frage kommenden Einschüben eine Anschlußmöglichkeit für eine externe Hochleistungskaskade vorgesehen. Im Normalbetrieb wird die Trennstelle für das Einschleifen dieser Kaskade mit einem an der Frontplatte zugänglichen Kurzschlußstecker überbrückt.
- Obwohl mit dem Universal-Spannungslabor in der nachfolgend dargestellten Dimensionierung mehrere Spannungsversorgungszüge gleichzeitig aktiviert werden können, kommt es dennoch immer wieder vor, daß mehrere Verbraucher parallel an demselben Spannungsversorgungszug betrieben werden sollen. Für solche Fälle ist vorgesorgt, und zwar in Form eines Gleichspannungsverteilers, an den bis zu drei Verbraucher angeschlossen werden können.
- Schließlich sei darauf hingewiesen, daß zur Inbetriebnahme des Gerätes mehrere Netzschalter betätigt werden müssen; denn neben den einschubinternen Netzschaltern (vorgesehen bei allen Einschüben, die mit Netzspannung versorgt werden müssen) ist ein Hauptschalter vorgesehen. Auf diese Weise kann das gesamte Schaltfeld ein- oder ausgeschaltet werden. Wird dieser Schalter obendrein als Schlüsselschalter ausgeführt, erhält man eine wirksame Sperre gegen unliebsame oder leichtsinnige Inbetriebnahme des Gerätes (z.B. durch neugierige Kinder!).

An das Ende der konstruktionsbedingten Leistungsmerkmale seien auch einige Anmerkungen zur Selbstbaupraxis gestellt. Freizeitelektroniker pflegen die finanziellen Mittel für ihre Projekte in der Regel in Teilbeträgen vom monatlichen Haushaltsbudget oder vom Taschengeld abzuzweigen. Der modulförmige Aufbau des Labornetzgerätes begünstigt dies, da das Gerät den finanziellen Möglichkeiten durch schrittweisen Aufbau angepaßt werden kann. Beim Nachbau wird Einschub für Ein-

schub vorgegangen. Kostensparend wirkt sich auch aus, daß der mechanische Aufbau einfach gehalten ist und deshalb ohne aufwendiges Spezialwerkzeug und ohne allzu spezielle Fertigungs- und Bearbeitungstechniken vorgenommen werden kann. Alle mechanischen Einzelteile sind außerdem in ihren Maßen vereinheitlicht und können unter Zuhilfenahme einer gängigen Heimwerkerausstattung (Handbohrmaschine, Stichsäge, Schleifzusätze) mit der Hand hergestellt werden. Die Montage erfolgt überwiegend mit Schrauben M3 x 10 ... 25.
Aus beschaffungstechnischen Gründen dürfte es sich schließlich als vorteilhaft herausstellen, daß die Einzelschaltungen des Labornetzgerätes auf gängige, im Fachhandel jederzeit erhältliche und daher leicht beschaffbare Bauelemente beschränkt wurden. Auch mit diesen Bauelementen lassen sich nämlich Leistungsdaten erzielen, die denen industriell gefertigter Speisespannungsmodule um nichts nachstehen. Im Gegenteil: Gemessen an dem finanziellen Aufwand übertrifft das hier beschriebene Labornetzgerät die Spezifikationen so manches seiner professionellen Gegenstücke. Die in den Stücklisten des dritten Abschnittes enthaltenen Bauelemente können direkt im Fachgeschäft oder über den elektronischen Versandfachhandel bezogen werden. Um dies zu erleichtern, ist im Anhang die Übersicht einiger wichtiger Bezugsquellen angefügt. Und mit diesem Hinweis wollen wir nun in die konkrete Praxis und den Selbstbau des Universal-Spannungslabors einsteigen.

2. Blockschaltbild

1.7 Wir wollen uns zunächst einen Überblick verschaffen, aus welchen Funktionsgruppen sich das Labornetzgerät zusammensetzt. Zur Veranschaulichung dient uns das in *Bild 4* dargestellte Blockschaltbild.
Auf den ersten Blick fällt auf, daß alle Baugruppen gleicher Funktion mit einem eingekreisten Großbuchstaben gekennzeichnet sind. Diese Kennzeichnung vereinfacht das Ansprechen und die Zuordnung der einzelnen Bausteine im Verfolg der weiteren Baubeschreibung. Die Buchstaben sind außerdem am oberen Frontplattenrand der einzelnen Einschübe wiederzufinden. So erleichtert man sich auch noch längere Zeit nach


Gehäuserahmen 1
Gehäuserahmen 2
Netz-
transformatoren
Störimpulsunterdrückung
Pulsierende Gleichspannung
Negative Hilfsspannung
C
R
Brücke
10A
C_L
U_{neg}
C
2 Einschübe
D
1 Einschub
1 Einschub
E5
Konstant-
spannungsregler
10,00V
1,5...5,5V
1,5...5,5V
7,5...37V
7,5...37V
7,5...37V
2 Einschübe
E2
E1
3 Einschübe
Nullspannungs-
nachsetzer
E3
1 Einschub
0... U_{max}
Gleich-
spannungsteiler
F
1 Einschub
Dualer
Spannungsteiler
asym
sym
E4
1 Einschub
Strom/
Spannungsmesser
A
V
K
1 Einschub
Elektronische Sicherung
G
1 Einschub
Variable Last
H
1 Einschub
B
Netzspannungsverteiler
im Gehäuserahmen 1
fest installiert
A
Netzspannungs-
hauptschalter
~220V

Fertigstellung des Gerätes eine Zuordnung zwischen den einzelnen Baugruppen und den zugehörigen Konstruktionszeichnungen und Schaltbildern vor allem dann, wenn es einmal um Reparaturarbeiten oder um Änderungen geht.

Bei etwas eingehenderer Betrachtung des Blockschaltbildes fällt darüberhinaus auf, daß die Bausteine A, B, und C durch den Fettdruck ihrer Umrandung herausgehoben sind. Bei diesen Baugruppen handelt es sich nämlich um die Grundbausteine des Universal-Spannungslabors. Grundbausteine deshalb, weil sie wenigstens erforderlich sind, um alle nachfolgenden Baugruppen in Betrieb nehmen zu können. Sie bilden demzufolge die Grundausbaustufe des Labornetzgerätes.

Die übrigen Bausteine D . . .K haben allesamt ergänzenden Charakter. Sie werden im weiteren daher als Zusatzbausteine bezeichnet. Sie unterscheiden sich auch noch in einem anderen Punkt von den Grundbausteinen. Während die Grundbausteine in einem Spannungsversorgungszug immer nur einmal und dann stets in derselben Reihenfolge A, B, C auftreten, können die Zusatzbausteine einzeln oder mehrfach, parallel oder in Serie geschaltet auf die Grundbausteine folgen. Die Endausbaustufe eines Spannungsversorgungszuges wird daher bei geringstem Aufwand mit den drei Grundbausteinen und einem Zusatzbaustein erreicht.

Schließlich ist aus dem Blockschaltbild ersichtlich, welchem der beiden Gehäuserahmen die einzelnen Bausteine zugeordnet sind. Der Zuordnung liegt primär die Überlegung zugrunde, alle Bausteine, zu deren Betrieb Netzspannung erforderlich ist (A, B, C, D und H), in einem Gehäuserahmen mit einem entsprechend dimensionierten Netzspannungsverteiler (B) zusammenzufassen. Daneben spielen bedienungstechnische Gesichtspunkte (an erster Stelle die Einspeisung der Sekundärwechselspannungen in den Netzgleichrichtereinschub (D)) eine Rolle. Die elektronische Sicherung (G) ist deshalb im Gehäuserahmen 1 untergebracht, weil sie zugleich als Konstantspannungsregler eingesetzt werden kann. Auf diese Weise hat man, sofern der Gehäuserahmen 1 mit allen Einschüben besetzt ist, bereits ein voll funktionsfähiges Labornetzgerät zur Verfügung. Es gestattet, stabilisierte Gleichspannungen zwischen 1,5 und 60 V bei einstellbarer Strombegrenzung zwischen 4 mA und 3,3 A abzugreifen. Wer also nur über einen schmalen Geldbeutel verfügt und nicht mehr als die eingangs bereits erwähnten ca.

Bild 4. (links) Blockschaltbild des Universal-Spannungslabors.

200 Mark investieren kann, möge sich zunächst darauf beschränken, das Labornetzgerät nur bis zu dieser Stufe nachzubauen.
An dieser Stelle sei überhaupt etwas zum „Nachbau" gesagt. Die Bauanleitungen im dritten Abschnitt sind so gehalten, daß jeder Modul vorlagengetreu nachgebaut werden kann. Wer sich dadurch zu sehr „angebunden" fühlt, kann die Bauanleitungen auch mehr als einen Leitfaden auffassen, an Hand dessen das Gerät „nachempfunden" werden kann. Konkret gesprochen: Die in den folgenden Abschnitten beispielsweise enthaltenen Platinen-Layouts können direkt von der Druckvorlage übernommen werden. Sie können jedoch auch – da bei keinem der Bausteine eine im Hinblick auf Schwingneigung kritische Leiterbahnführung zu befürchten ist – ähnlich gestaltet werden. Oder: Wer ein überzeugter Anhänger der Miniaturisierung ist, wird hoffentlich die äußeren Abmessungen des Gerätes nicht als unabänderlich hinnehmen und sich hernach über ein zwar leistungsfähiges, seinen Vorstellungen von raumsparender Geräteästhetik aber ganz und gar nicht entsprechendes Selbstbaugerät grämen. Derjenige schließlich, der auf das Europakartenformat eingeschworen ist, dürfte ebenfalls keine Schwierigkeiten haben, die einzelnen Moduln entsprechend abzuändern.
1.8 Doch kehren wir nach diesem Seitensprung ins schon beinahe Hobbyäsotherische zur Realität, der Beschäftigung mit unserem Blockschaltbild zurück. Denn bevor wir in die eigentlichen Schaltungsdetails der einzelnen Bausteine einsteigen können, soll noch eine summarische Beschreibung der Funktionen vorangestellt werden, die den einzelnen Baugruppen in *Bild 2* zugeordnet sind.

- Der *Netzspannungshauptschalter* (Grundbaustein A) dient, wie bereits weiter oben erwähnt, zur Inbetriebnahme bzw. Abschaltung des Gesamtgerätes. Er enthält zugleich ein Breitband-HF-Entstörfilter, mit dem HF-Einstrahlungen in benachbarte Rundfunk- und Fernsehgeräte wirksam unterdrückt werden.
- Als *Netzspannungsverteiler* ist Grundbaustein B ausgelegt. Die über den Netzspannungshauptschalter zugeführte Netzwechselspannung kann über den als Verteilerschiene ausgeprägten Baustein auf alle Bausteine gegeben werden, zu deren Betrieb Netzspannung erforderlich ist.
- Die für die *Umsetzung der Netzwechselspannung in Niederwechselspannung* erforderlichen Trenntransformatoren sind im Grundbau-

stein C zusammengefaßt. Sie sind so dimensioniert, daß für den Normalbetrieb Lastströme bis zu 3,5 A, für Batterieladezwecke oder ähnliche Belastungsfälle bis zu 8 A entnommen werden können. Die Sekundärspannungsabstufung entspricht – um hier einmal bereits ins einzelne zu gehen – den Werten in der Tabelle 5.

- Der *Netzgleichrichtereinschub* (Zusatzbaustein D) vereinigt mehrere Funktionen in einem Baustein. In erster Linie hat er die Aufgabe, die über die Netztransformatoren gewonnenen Niederwechselspannungen in pulsierende Gleichspannung umzuwandeln. Je nachdem ob der Ladekondensator C_L ab- oder zugeschaltet ist, ergibt sich ein ungeglätteter oder geglätteter Gleichspannungsverlauf an den Ausgangsklemmen. Die Eingangswechselspannung wird gleichzeitig zur Erzeugung einer negativen Hilfsspannung (U_{neg}) herangezogen. Außerdem ist in den Baustein ein RC-Netzwerk eingefügt, das impulsförmige Störeinstrahlungen zum Zwecke der Erhöhung der TTL-Festigkeit unterdrückt und damit vom Verbraucher fernhält.
- Die Zusatzbausteine E1, E2 und E5 sind allesamt als *Konstantspannungsregler* für unterschiedliche Verwendungszwecke ausgelegt. Während E1 und E2 vorwiegend dazu dienen, stabilisierte, kontinuierlich einstellbare Experimentier-Speisespannungen zu liefern (E1 zwischen 7,5 und 37, E2 zwischen 1,5 und 5,5 V), steht am Ausgang von E5 eine hochkonstante Eichspannung für Kalibrierzwecke zur Verfügung. Alle Bausteine sind dauerkurzschlußfest ausgelegt, E1 und E2 können Lastströme bis 2,75 A, E3 bis maximal 30 mA liefern.
- Besteht die Erfordernis nach einer bis auf Null Volt zurückregelbaren stabilisierten Gleichspannung, steht mit dem *Nullspannungsnachsetzer* (Zusatzbaustein E3) ein hierfür geeigneter Regler zur Verfügung. Er wird einem Konstantspannungsregler einfach nachgeschaltet und verfügt über eine per Hand einstellbare Spannungsregelung zwischen 0 Volt und U_{ein}.
- Eine ähnliche Nachsetzfunktion erfüllt der *Duale Spannungsteiler* (Zusatzbaustein E4). Mit seiner Hilfe ist es möglich, eine asymmetrische Eingangsgleichspannung im Verhältnis 1:1 zu teilen, sodaß an seinem Ausgang eine symmetrische Ausgangsgleichspannung abgegriffen werden kann, deren positiver und negativer Spannungsanteil weist jeweils einen Betrag von $\frac{1}{2}\ U_{ein}$ auf.
- Zusatzbaustein F bezeichnet den bereits oben erwähnten *Gleich-*

spannungsverteiler: seine Funktion bedarf deshalb keiner weiteren Erläuterung. Als Besonderheit sei jedoch vermerkt, daß in diesem Baustein ein weiteres HF-Breitbandentstörfilter enthalten ist, das zusätzlich zwischengeschaltet werden kann, wenn die im Grundbaustein A enthaltene HF-Unterdrückung nicht ausreicht.

- Kommt es in bestimmten Anwendungsfällen darauf an, daß ein bestimmter Laststrom nicht überschritten werden darf, kann auf den Zusatzbaustein G zurückgegriffen werden. Bei diesem Baustein handelt es sich prinzipiell um denselben Konstantspannungsregler wie im Baustein E1; der einzige Unterschied besteht darin, daß der Baustein G über eine einstellbare Strombegrenzung zwischen 4 mA und 3,3 A verfügt, während diese bei E1 fest auf etwa 2,75 A eingestellt ist. Der Zusatzbaustein G kann daher neben seiner Funktion als stabilisierte Gleichspannungsquelle für Speisespannungen zwischen 1,5 und 30 V zugleich die Aufgaben einer einstellbaren *Überstromsicherung* übernehmen.
- Über die Zweckmäßigkeit einer *Variablen Last* sind bereits unter Nr. 1.4 die notwendigen Ausführungen enthalten. Sie verbirgt sich im Blockschaltbild hinter dem Zusatzbaustein H.
- Zusatzbaustein K schließlich rundet das Bild in Form eines *Strom-/Spannungsmessers* ab. Hierbei handelt es sich nicht um einen Präzisionsmeßeinschub, sondern mehr um einen Mehrbereichsmesser, dessen Genauigkeit von den beim Abgleich benutzten Referenzmeßgeräten abhängt. Dies genügt aber für die meisten Anwendungsfälle im Hobbylabor.

1.9 Als letzte Einzelheit läßt sich dem Blockschaltbild entnehmen, wieviel Einschübe notwendig sind, um alle Grund- und Zusatzbausteine in der erforderlichen Anzahl aufzubauen. Mit Ausnahme der Grundbausteine A und B, die fest in den Gehäuserahmen 1 eingebaut werden, sind es insgesamt 15 Einschübe unterschiedlicher Einbaubreite, mit denen das Schaltfeld des Universal-Spannungslabors besetzt ist. Die meisten Einschübe beherbergen nur einen Baustein. In einigen Fällen sind jedoch Bausteine in mehrfacher Ausfertigung in einem Einschub vereinigt. Am augenscheinlichsten ist dies beim Netzgleichrichtereinschub D ausgeprägt. Dort sind in einem Einschub drei Netzgleichrichterstufen vereinigt, die unabhängig voneinander in Betrieb genommen werden können. Hier liegt zugleich die Begründung dafür, daß mit dem Uni-

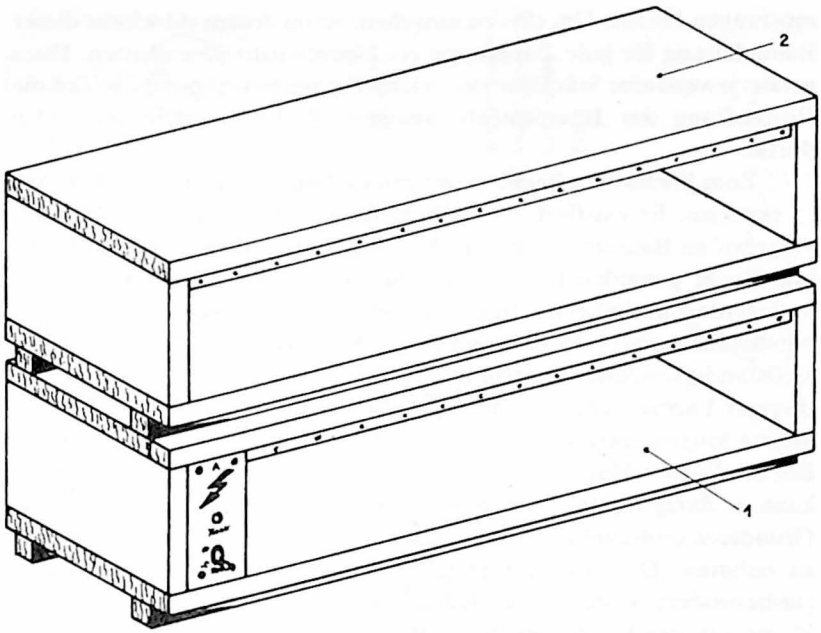


Bild 5. Schematische Darstellung der zu einem Schaltfeld übereinandergestellten Gehäuserahmen 1 und 2 (ohne Einschübe).

versal-Spannungslabor höchstens drei Spannungsversorgungszüge im Gleichzeitigkeitsbetrieb zur Verfügung stehen.
In Bezug auf die Gehäuserahmen 1 und 2 genügt an dieser Stelle vorerst der Hinweis auf ihre äußerlich gleichen Abmessungen. Dies ist sinnfällig, denn dadurch können sie zum Betrieb übereinandergesetzt werden und bilden so das wiederholt angesprochene Schaltfeld *(Bild 5)*.

3. Einzelschaltbilder und Bauelemente

1.10 Würden nun alle im Blockschaltbild enthaltenen Bausteine des Labornetzgerätes in einem gemeinsamen Schaltplan mit allen Schaltungsdetails dargestellt, liefe dies auf eine Abbildung mit Plakatab-

messungen hinaus. Um dies zu umgehen, ist im dritten Abschnitt dieser Bauanleitung für jede Baugruppe ein Einzelschaltbild enthalten. Dazu gehört jeweils eine Stückliste der erforderlichen Bauelemente, so daß die Beschaffung der Bauelemente keinerlei Probleme mehr aufwerfen dürfte.

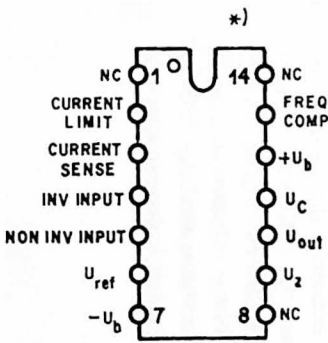
1.11 Zum Stichwort „Bauelementebeschaffung" einige ergänzende Anmerkungen. Es existiert ein Elektronikmarkt mit einem reichhaltigen Angebot an Bauelementen. Für denjenigen, der „seine Bezugsquellen" noch nicht gefunden hat, sei an dieser Stelle noch einmal auf den im Anlagenteil enthaltenen Bezugsquellennachweis hingewiesen. Selbstverständlich erhebt die dort enthaltene Auflistung keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Der versierte Praktiker wird zusätzlich dazu die Inserate diverser Fachzeitschriften im Auge behalten, in denen auf weitere Angebote hingewiesen wird.

Bei der Entscheidung, wo man seine Bauelemente schließlich beschafft, kann es darüberhinaus von Nutzen sein, den preislichen Vorteil einer Grundmengenbestellung von Bauelementen gleichen Typs in Anspruch zu nehmen. Die Anbieter pflegen nämlich bestimmte Bauelemente (insbesondere Widerstände, Kondensatoren, Transistoren, bestimmte IC etc.) in den Grundmengen 1, 10, 100, 1000 Stück zu annoncieren; dabei sinkt der Stückpreis mit größer werdender Grundmenge. Man sollte sich daher überlegen, ob es sich unter diesem Aspekt nicht lohnt, die für das Universal-Spannungslabor in größerer Menge erforderlichen Bauelemente auf diesem Wege einzukaufen.

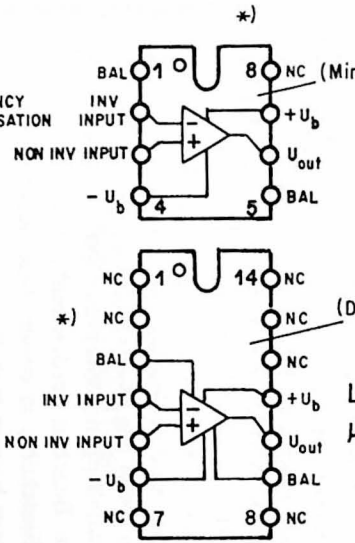
Bei der Auswahl der Bauelemente sollten ergänzend dazu die nachfolgenden Hinweise beachtet werden:

- Wer sich nicht ganz sicher ist – und meßtechnisch auch nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit feststellen kann – ob sich Bauelemente aus der Bastelkiste noch für den Aufbau des Universal-Spannungslabors eignen, handelt in den meisten Fällen kostensparend, wenn er diese Bauelemente neu beschafft; dies gilt besonders für Halbleiter. Es sollte nämlich immer bedacht werden, daß ein Labornetzgerät wiederholt bis an die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit belastet wird und das nur dann unbeschadet übersteht, wenn die Bauelemente in

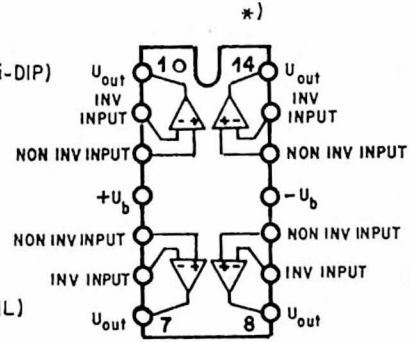
Bild 6. (rechts) Anschlußbilder der verwendeten Integrierten Schaltungen und Transistoren.



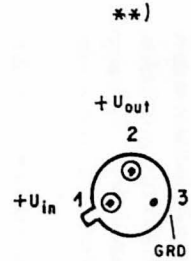
LM 723
µA 723



LM 741
µA 741

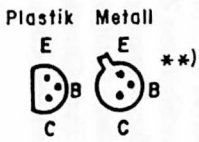


LM 324

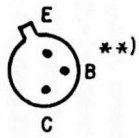


LH0070-1

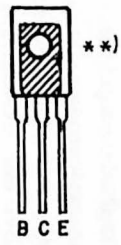
*) Ansicht von oben
**) Ansicht von unten
NC = nicht belegt
GRD = Minus



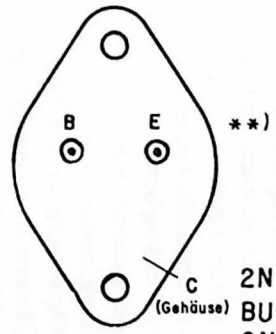
BC 107
BC 108
BC 177



BC 140
BC 141
BC 160
BC 161



BD138



2N3055, 2N3771
BU111
2N2955
o.ä.

ihrem garantierten Toleranzbereich arbeiten. Es ist nämlich besonders ärgerlich (weil dann erst recht teuer), wenn die Halbleitergeneration einer ganzen Baugruppe nur deshalb den Wärmetod stirbt, weil eine Diode oder ein Transistor mit zweifelhaften Werten darunter war (denn das sind meistens die aus der Bastelkiste).

- Bei der Beschaffung der Halbleiter (Dioden, Netzgleichrichter, Transistoren, Integrierte Schaltkreise) sollten gestempelte Exemplare den Vorzug haben. Dies sind Bauelemente, auf die das Hersteller/Markenzeichen und die Typenbezeichnung aufgedruckt oder mit einem Farbcode aufgebracht sind. Bei ungestempelter Ware übernehmen die Anbieter in der Regel auch keine Garantie für die Funktionsfähigkeit der gelieferten Exemplare.
- Es erleichtert die Beschaffung und die spätere Bestückung der Platinen, wenn beim Einkauf die Anschlußbilder der im Universal-Spannungslabor eingesetzten Halbleiter beachtet werden *(Bild 6)*. Sofern als Leistungstransistor der 2N3055 vorgesehen ist, empfiehlt sich der RCA-Typ mit einer zulässigen Kollektor-Emitterspannung bis 100 V. Dadurch wird sichergestellt, daß dieser jeweils unter Hochlastbedingungen betriebene Transistor über eine ausreichende Spannungsfestigkeit verfügt. Er kann generell auch durch den Typ BU111 ersetzt werden; dieser Transistor hat allerdings seinen Preis.
- Bei der Beschaffung der Hochleistungskühlkörper ist von einem Wärmewiderstand von 1,5 K/W (Lies: Kelvin pro Watt) auszugehen. Diese Angabe besagt, daß sich der Kühlkörper je 1 Watt Verlustleistungszunahme um nicht mehr als 1,5°C erwärmt. Entsprechend dimensionierte Kühlkörper sind im Fachhandel gängig. Sie müssen natürlich nicht unbedingt die in den Montageabbildungen des dritten Abschnitts dargestellten Kühlrippenprofile aufweisen, sondern können auch anders gestaltet sein. Beachtet werden muß jedoch, daß die Einbaubreite der meisten Einschübe, in denen diese Kühlkörper verwendet werden, nur 60 mm beträgt (vgl. dazu *Bild 18)*.
- Als Buchsen für die Ein- und Ausgänge der einzelnen Bausteine sowie für den Anschluß von Zusatzgeräten kommen nur vollisolierte Steckbuchsen oder Apparateklemmen in Frage, so daß es möglich ist, alle elektronischen Einbauten in den Einschüben vollständig isoliert gegenüber dem Chassis (dieses liegt an Massepotential des 220 V-Netzes!) vorzunehmen. Die Buchsen sollen einen Innendurchmesser

von 4 mm haben, so daß als Stecker für die Schaltschnüre sogenannte Büschelstecker verwendet werden können.

- Bei der Beschaffung der Bedienelemente (Schalter, Potentiometer, Kurzschlußstecker, Drucktaster etc.) ist darauf zu achten, daß Kipphebel, Achsen, Drehknöpfe oder Griffprofile aus vollisolierendem Kunststoff bestehen, um ein Höchstmaß an Berührungssicherheit zu erzielen. Für die Frontplattenmontage sind durchweg solche Bedienungselemente zu bevorzugen, die nach dem Verfahren der Einlochmontage in Bohrungen der Frontplatte eingesetzt und mit einer Mutter verschraubt werden.
- Abschließend ein Wort zur Verdrahtung. Sofern es sich in den einzelnen Einschüben um laststromführende Leitungen von den Platinen zu den einzelnen Buchsen der Frontplatten handelt, ist 1,5 mm starker, nicht zu weicher Blankdraht zu verwenden, der einen Isolierschlauchüberzug erhält. Am besten eignet sich dazu versilberter Kupferdraht des entsprechenden Durchmessers sowie Telefon-Isolierschlauch (schwer entflammbar!).

Wer sich an diesen wenigen Ratschlägen orientiert, wird sicherlich gut bedient sein; denn ein Gerät ist nur so gut, wie die Leistungsfähigkeit seiner schwächsten Glieder; dies sind bei einem Labornetzgerät nun einmal die elektronischen Bauelemente – sie verdienen daher unser besonderes Augenmerk.

II. Mechanischer Aufbau

1. Reihenfolge des Aufbaus

2.1 Durch den baukastenförmigen Aufbau des Universal-Spannungslabors in Form des bereits erläuterten Schaltfeldes treten konstruktive Gesichtspunkte zunächst einmal in den Vordergrund. Denn der Aufbau des „Innenlebens" der einzelnen Einschübe kann naturgemäß erst dann

erfolgen, wenn der rein mechanische Aufbau der Gehäuserahmen und der Leereinschübe abgeschlossen ist. Es erweist sich – wenn man das Gerät so aufbaut, daß es in der jeweiligen Ausbaustufe bereits benutzt werden kann – daher als zweckmäßig, beim Nachbau eine bestimmte Reihenfolge einzuhalten:

1. *Schritt* Zunächst wird der Gehäuserahmen 1 einschließlich der Grundbausteine A (Netzspannungshauptschalter) und B (Netzspannungsverteiler) fertiggestellt. Dies ist die Voraussetzung, um überhaupt die vorgesehenen Einschübe mechanisch stabil unterbringen zu können.
2. *Schritt* Es folgt der Auf- und Einbau mindestens eines der beiden Netztransformatoreinschübe. Im dritten Abschnitt wird wegen der größeren Einsatzmöglichkeiten zunächst der Baustein C1 mit dem Netztransformator 1 beschrieben (vgl. dazu *Tabelle 5)*.
3. *Schritt* Nachdem mindestens ein Netztransformatoreinschub fertiggestellt ist, kann der Netzgleichrichtereinschub in Angriff genommen werden. Er wird in einem Einschub aufgebaut und beherbergt die bereits erwähnten drei Netzgleichrichterzüge. Nach seiner Montage können also bereits drei pulsierende Gleichspannungen gleichzeitig abgegriffen werden.

   Außerdem stehen drei negative Hilfsgleichspannungen zur Verfügung. Der Betrieb der Autorennbahn ist jetzt bereits möglich, oder eine Kleinbohrmaschine kann die weitere Arbeit unterstützen. Es lassen sich auch bereits alle möglichen Blink- und Beleuchtungsprobleme des Sohnes im Zusammenhang mit Fischertechnik oder ähnlichen Baukastensystemen lösen. Kleinakkus kommen zu ihrem Recht, auch der Bleistiftlötkolben läßt sich nun schnell aufheizen.
4. *Schritt* Bevor nun einer der Bausteine fertiggestellt wird, die bereits stabilisierte Gleichspannungen zu liefern vermögen, ist es zweckmäßig, die Variable Last aufzubauen. Denn einer der Hauptzwecke dieses Einschubes besteht darin, Spannungsreglerbausteine unter Dauer- und Impulslastbedingungen zu prüfen.
5. *Schritt* Nun folgt der erste Spannungsregler mit dem Baustein G; er

dient zugleich als elektronische Sicherung. Dieser Baustein wird in einem Einschub mit zwei voneinander unabhängig arbeitenden Reglern ausgestattet (G1, G2); auf diese Weise können bei Serienschaltung der Ausgänge, wie bereits erwähnt, stabilisierte Gleichspannungen bis 60 V erzeugt werden. Mit dem Aufbau dieses Reglerbausteines ist zugleich die Besetzung des Gehäuserahmens 1 mit allen vorgesehenen Baugruppen abgeschlossen. An dieser Stelle kann daher der Aufbau abgeschlossen (vgl. Nr. 1.7) oder aber die Entscheidung für den Aufbau des Gehäuserahmens 2 getroffen werden.

6. *Schritt* Wer sich dazu entschlossen hat, baut nun den Gehäuserahmen 2 auf.

7. *Schritt* Es folgt der Bau der Konstantspannungsregler E1 (3 Einschübe mit einem jeweils separat arbeitenden Regler). Nach ihrer Fertigstellung lassen sich die meisten Normalfälle für die stabilisierte Gleichspannungsversorgung bereits abdecken.

   Für den Spannungsbereich bis 5 V schließt sich der Aufbau der Konstantspannungsregler vom Typ E2 an. Auch hier wird jeder Regler für sich in einen separaten Einschub eingesetzt. Mit Hilfe der 5 V-Regler lassen sich nun auch bereits TTL- und C-MOS-bestückte Schaltungsaufbauten in Betrieb nehmen.

8. *Schritt* Ein bereits recht umfangreicher Einsatz im Laborbetrieb läßt sich erreichen, wenn die Konstantspannungsregler noch um den Gleichspannungsverteiler ergänzt werden. Im Verein mit der empfohlenen und u.U. sogar schon erweiterten Grundausstattung an Schaltschnüren (vgl. Nr. 38 in Verbindung mit Tabelle 4) besitzt das Schaltfeld daher schon eine beachtliche Flexibilität.

9. *Schritt* Hier fehlt außer dem Nullspannungsnachsetzer und dem Dualen Spannungsteiler für besondere Anwendungsfälle eigentlich nur noch ein leistungsfähiger Meßeinschub, mit dessen Hilfe Ströme und Spannungen in dem erforderlichen Umfange überwacht werden können. Es empfiehlt sich daher, ihn nunmehr folgen zu lassen.

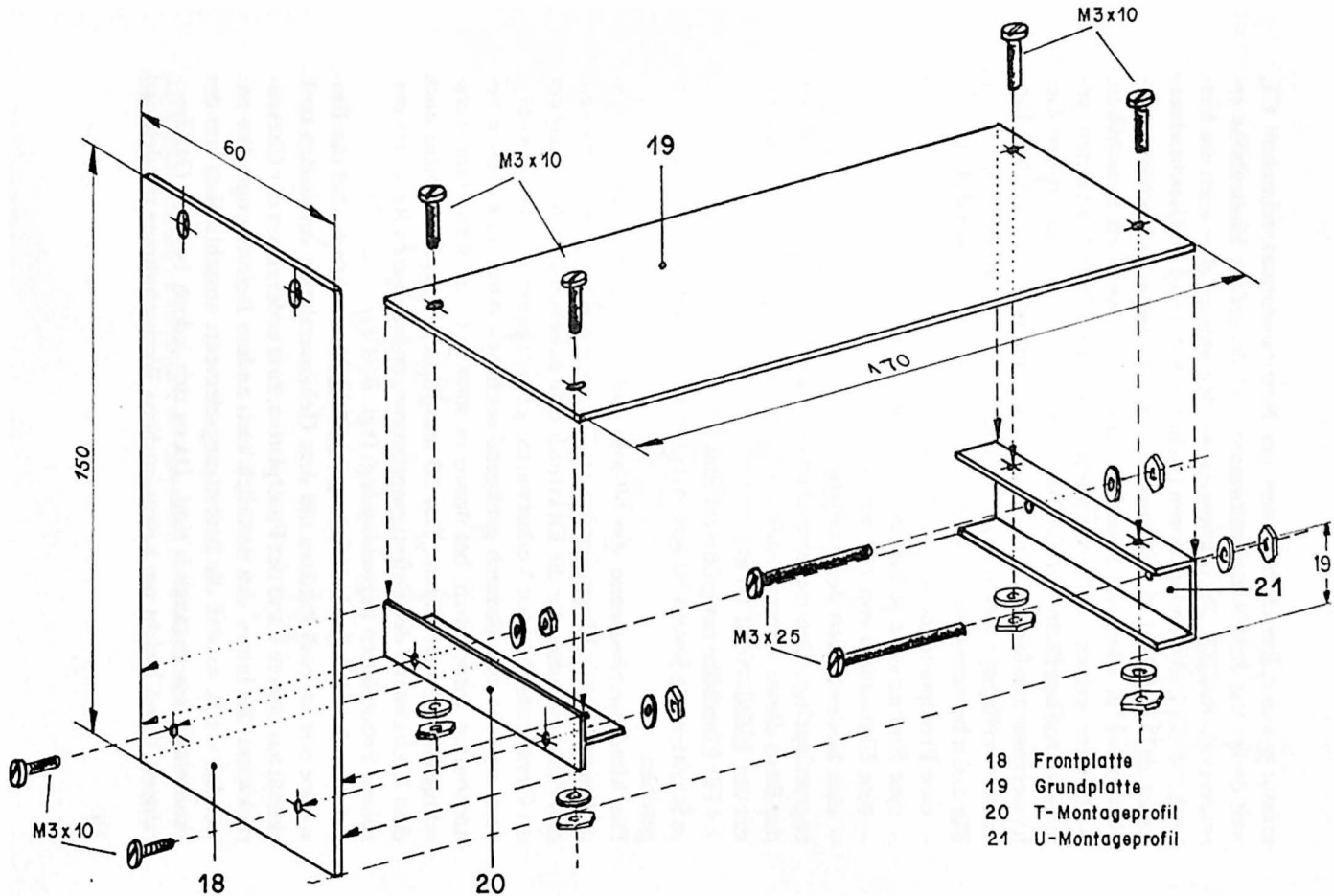
10. Schritt Zum Schluß endlich geht es sozusagen um die Exoten unter den Reglerbausteinen. In welcher Reihenfolge der Nullspannungsnachsetzer (E3), der Duale Spannungsteiler (E4) und – last but not least – der Hochkonstantspannungsregler (E5) dem Schaltfeld hinzugefügt werden, kann daher dem jeweiligen Einzelinteresse überlassen bleiben. Wer mehr praktisch denkt, wird den Dualen Spannungsteiler vorziehen, um OpAmp-besetzte Schaltungen mit symmetrischer Speisespannung problemlos speisen zu können. Wer sich mehr mit dem Ausmessen von Bauelementen abgibt, sollte dem Nullspannungsnachsetzer den Vorzug geben. Den Genauigkeitsfanatiker schließlich dürfte der Hochkonstantspannungsregler primär anlocken.

2.2 Damit wir uns nun an die praktische Arbeit machen können, noch ein Hinweis zum mechanischen Grundkonzept. Da die Gehäuserahmen 1 und 2 lediglich die Aufgabe haben, die einzelnen Einschübe in der für die Inbetriebnahme zweckmäßigste Anordnung aufzunehmen, richten sich ihre Abmessungen natürlich weitgehend nach den von den Einschüben abhängigen Größenverhältnissen. Beim Gehäuserahmen 1 kommt noch hinzu, daß er den Netzspannungshauptschalter und den Netzspannungsverteiler als fest eingebaute Bestandteile aufzunehmen hat. Mit anderen Worten, maßgeblich sind die Abmessungen der Einschübe. Wir wollen uns daher zunächst mit der prinzipiellen Konstruktion eines Leereinschubes und erst danach mit dem Aufbau der Gehäuserahmen befassen.

2. Aufbau der Leereinschübe

2.3 Da nur in wenigen Fällen eine Abkantbank zur Herstellung maßhaltiger Biegechassis und Einschubteile zur Verfügung stehen dürfte, werden alle Einschübe aus 2 mm starken einzelnen Aluminiumblechen zusammengesetzt. Zur Montage der Bleche werden handelsübliche Leichtmetallprofile verwendet, wie sie in jedem Heimwerkermarkt oder in Hobbyläden angeboten werden. Die Vorgaben für die Grundab-

Bild 7. (rechts) Explosionsdarstellung eines Einschubes.


M3x10
M3x10
19
60
150
170
M3x25
21
19
M3x10
18
20
18 Frontplatte
19 Grundplatte
20 T-Montageprofil
21 U-Montageprofil

messungen der Einschübe liefert der Netztransformatoreinschub C1, weil dieser mit dem Netztransformator Tr1 die größte Einbauhöhe erreicht (vgl. *Bild 22)*. Berücksichtigt werden müssen aber auch die Einbauhöhe der Ladekondensatoren (stehende Montage) im Gleichrichtereinschub D (vgl. *Bild 30*, C8) sowie die Abmessungen der Hochleistungskühlkörper in allen mit Leistungstransistoren besetzten Einschüben. Außerdem müssen die Frontplatten und die Chassisrückseiten genügend Auflagefläche für die Befestigung der Einschübe in den Gehäuserahmen aufweisen. Trotzdem soll der für die elektronischen Einbauten verfügbare Raum dadurch nicht beeinträchtigt werden.
Für einen betriebssicheren Aufbau aller Einschübe werden daher:
– eine Frontplattenhöhe von 150 mm,
– eine Einbaubreite je Einschub von mindestens 60 mm,
– eine Einbautiefe von 170 mm und
– eine Bodenfreiheit der Chassisgrundplatte von 20 mm
zugrundegelegt. Den mechanischen Grundaufbau eines Einschubes auf der Basis dieser Abmessungen zeigt *Bild 7*; dargestellt ist ein Einschub mit der Einbaubreite 60 mm.
2.4 Für Einschübe mit größerem Einbauvolumen steigt die Einbaubreite in Schritten von jeweils 30 mm. Als größte Einbaubreite ist 150 mm vorgesehen.
Die Mindesteinbaubreite von 60 mm und die Zunahme des Breitenmaßes um jeweils 30 mm wurden gewählt, weil neben einem ausreichenden Einbauvolumen für die Elektronik eine unbehinderte Ableitung der im Gerät entstehenden Verlustwärme gewährleistet sein muß. Außerdem erreicht man dadurch genügend seitlichen Abstand zwischen benachbarten Einschüben, bei denen es sonst u.U. zu Berührungskurzschlüssen kommen könnte. Das 30 mm-Raster ist darüberhinaus auch dem Lochabstand der Befestigungsbohrungen am oberen Rand der einzelnen Frontplatten zugrundegelegt (vgl. *Bild 8)*.
2.5 Aus *Bild 8* ist in Verbindung mit *Bild 11* ersichtlich, daß die Einschübe nur an zwei Punkten mit dem Gehäuserahmen verbunden sind: einmal am oberen Rand der Frontplatten, zum anderen mit der Chassisrückwand. Es lassen sich natürlich auch andere Befestigungsarten anwenden – z.B. so, daß die Befestigungselemente ausschließlich von der Frontplatte aus zugänglich sind. Da es sich jedoch bei den Gehäuserahmen 1 und 2 nicht um ausgesprochene Wechselrahmen handelt und

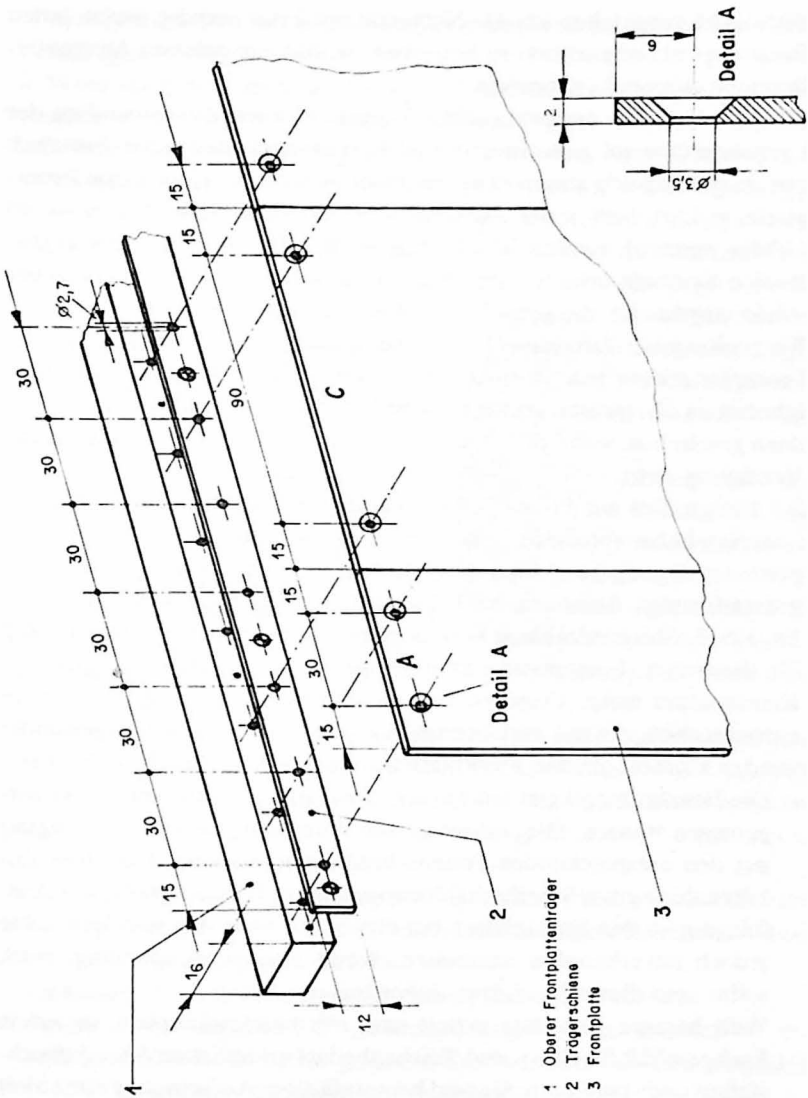


Bild 8. Montageskizze zur Befestigung der Frontplatten im 30 mm-Raster in den Gehäuserahmen 1 und 2.

auch nicht vorgesehen ist, das Netzgerät mit einer ständig wechselnden Baugruppenkonfiguration zu betreiben, wurde von solchen Alternativlösungen Abstand genommen.

2.6 Aus Gründen des praktischen Vorgehens beim Zusammenbau der Leereinschübe sei außerdem darauf hingewiesen, daß jeder Einschub erst dann endgültig zusammengeschraubt werden kann, wenn die Frontplatte poliert (mit einer Messingdraht-Rundlaufbürste bei etwa 40 U/Min bürsten) worden ist, die notwendige Beschriftung und ergänzenden Symbole erhalten hat und mit allen Bedienungselementen bestückt worden ist, die gemäß Schaltbild vorzusehen sind.

Ein probeweiser Zusammenbau vor der abschließenden Behandlung der Frontplatte kann jedoch nicht schaden, um die Maßhaltigkeit des Einschubes zu überprüfen und ggf. zu verbessern. Dies kann natürlich erst dann geschehen, wenn der zugehörige Gehäuserahmen bereits fertig zur Verfügung steht.

2.7 Einige Tips zur Frontplattengestaltung sollen das Kapitel über die Leereinschübe abrunden. Als Anhalt können die Bilder zur Frontplattenauslegung im dritten Abschnitt dienen.[3] Sie zeigen jenes pictogrammförmige Aussehen der Frontplattenbeschriftung von dem in der Nr. 1.6, 3. Strichaufzählung bereits gesprochen wurde. Zur Begründung für diese Art, Frontplatten zu beschriften, bedarf es daher keinerlei Kommentars mehr. Dagegen mag es hilfreich sein, einige Verfahren anzusprechen, die mit verhältnismäßig geringem Aufwand angewendet werden können, um den Frontplatten zu ihrem Aussehen zu verhelfen.

- Die Beschriftung kann mit wasserunlöslicher Folientusche direkt aufgetragen werden. Dies erfordert allerdings einige Praxis im Umgang mit den entsprechenden Folienschreibern und sollte nicht ohne Zuhilfenahme guter Schriftschablonen erfolgen. Trotz sorgfältigster Ausführung ist den Frontplatten bei dieser Methode das Handgemachte jedoch unverkennbar anzusehen. Wenn man nicht unbedingt muß, sollte man dieses Verfahren daher beiseite lassen.
- Weit bessere Resultate erzielt man mit handelsüblichen, in jedem Fachgeschäft für Büro- und Zeichenbedarf erhältlichen Abreibebuchstaben und -symbolen. Sie sind bei sorgfältiger Aufbringung abriebfest

[3] Frontplatten der Einschübe im Gehäuserahmen 1 siehe Bilder 23, 35, 49, 57
Frontplatten der Einschübe im Gehäuserahmen 2 siehe Bilder 74, 78, 82, 88, 96, 105, 113

und gestatten so bei geringem Kostenaufwand ein nahezu industriemäßiges Design.

- Wem auch dies noch nicht ausreicht, weil er zusätzlich Wert auf beispielsweise eloxierte Untergrundstruktur oder absolut wischfeste Frontplattenauslegung legt, dem sei empfohlen, eine selbstklebende Metallfolie zu verwenden, auf die zuvor mittels UV-Technik der gewünschte „Frontplattenlook" übertragen wurde. Dies macht es zwar unumgänglich, von dem Frontplattenbild zunächst eine transferfähige Mater (Transparent mit Tusche) herzustellen – das Ergebnis entschädigt hernach allerdings auch für den Aufwand. Frontplatten, die nach dieser Technik hergestellt werden, sind von kommerziell gefertigten nicht mehr zu unterscheiden. Es soll jedoch nicht verschwiegen werden, daß das hierfür erforderliche Basismaterial nicht ganz billig ist.

Bei der Bestückung der Frontplatten mit den Bedienelementen des jeweiligen Bausteines sind neben den in der Nr. 1.11, 6. Strichaufzählung bereits erwähnten Gesichtspunkten zur Beschaffung berührungssicherer Bedienelemente ferner folgende Grundregeln zu beachten:

- Buchsen gleicher Funktion sind von der Farbgebung ihrer Isolierstoffkappen her in allen Einschüben nach einem einheitlichen Zuordnungsmodus kenntlich zu machen.[4] Es sollte folgende Farbzuordnung eingehalten werden:

  gelb für alle Wechselspannung führenden Ein/Ausgangsbuchsen und nach außen geführte Basisanschlüsse zum Anschluß externer Leistungstransistoren. Die Anschlüsse für extern zuzuschaltende Strombegrenzungswiderstände sollten ebenfalls gelbfarben sein.

  rot für positive Gleichspannung führende Buchsen und für nach außen geführte Kollektoranschlüsse zum Anschluß externer Leistungstransistoren

  schwarz für negative Gleichspannung führende Buchsen

  grün für negative Hilfsgleichspannung führende Buchsen

  blau für nach außen geführte Emitteranschlüsse zum Anschluß externer Leistungstransistoren

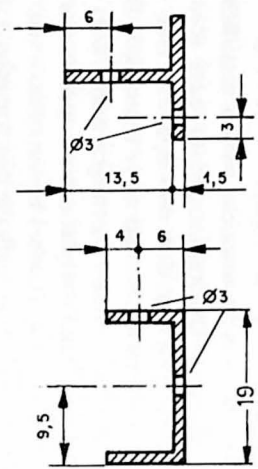
- Alle Netzschalter und Kipphebelschalter mit sonstigen Ein/Aus- oder

[4] Dieselbe Farbzuordnung gilt für die Schaltschnüre und Büschelstecker an diesen Schnüren

Tabelle 2 — Stückliste der Einzelteile für den Bau der Leereinschübe

Einzelteile / Einschübe mm		Frontplatten				Grundplatten				T-Profil				U-Profil			
		60	90	120	150	60	90	120	150	60	90	120	150	60	90	120	150
A	NetzSpHptSch	1															
C1	NetzTrafo 1			1				1				1				1	
C2	Netztrafo 2,3			1				1				1				1	
D	NetzGleichr				1				1				1				1
E1	KonstSpRegl	3				3				3				3			
E2	KonstSpRgl	2				2				2				2			
E3	NullSpNachs	1				1				1				1			
E4	DualerSpTlr	1				1				1				1			
E5	HochkonstSpRegl	1				1				1				1			
F	GleichSpVert		1														
G	ElektrSich			1				1				1				1	
H	Variable Last			1				1				1				1	
K	I/U-Messer			1				1				1				1	
	ges	9	1	5	1	8		5	1	8		5	1	8		5	1

Abmaße des U- und T-Profils



Umschaltfunktionen sind immer so zu montieren, daß die Kipphebel in ausgeschaltetem Zustand abwärts weisen.
- Es empfiehlt sich, die verschiedentlich als Kontrollampen vorgesehenen LEDs rotfarben zu wählen und mit Hilfe einer LED-Fassung zu montieren.
- Um schließlich die Beschaffung des Aluminiumbleches und der Montageprofile im einzelnen kalkulieren zu können, kann auf die in der *Tabelle 2* zusammengestellten Stückzahlen zurückgegriffen werden.

3. Aufbau der Gehäuserahmen 1 und 2

2.8 Metallgehäuse (z.B. das 19"-System) haben bekanntlich ihren Preis. Sie können auch im Selbstbau nur dann maßhaltig hergestellt werden, wenn neben speziellen Werkzeugen auch entsprechende Fachkenntnisse vorhanden sind. Einfacher ist es deshalb, die Gehäuserahmen aus Holz herzustellen. Hierzug eignet sich 16 mm starke Tischlerplatte am besten. Läßt man sich die einzelnen Platten und Hartholzleisten bei seiner „Haustischlerei" bereits maßgerecht zuschneiden, bereitet die Montage bei einiger handwerklicher Fertigkeit keine Probleme. Für das Zuschneiden der Holzelemente kann *auf Tabelle 3* zurückgegriffen werden. Den Zusammenbau selbst unterstützen die *Bilder 9, 10, 11* und *12*.
Bild 9 zeigt die mit allen Einschüben besetzten Gehäuserahmen als Frontansicht in Form des bereits wiederholt angesprochenen Schaltfeldes. Die für den Aufbau wichtigsten Abmessungen sind in Millimetern angegeben. Diese Maße allein genügen jedoch noch nicht, um die Gehäuserahmen in allen Einzelheiten fertigzumontieren; deshalb wurden mit den *Bildern 10* und *11* die in *Bild 9* bereits angedeuteten Schnittdarstellungen A-A und B-B in allen Einzelheiten ausgeführt und vermaßt. *Bild 12* vervollständigt die für die Montage der Gehäuserahmen notwendigen Ansichten; es zeigt die beiden Gehäuserahmen aus der Rückansicht und hier besonders die Formgebung der Gehäuserückwand. Damit die Rückwände beider Gehäuserahmen nur mit wenigen Schrauben fixiert zu werden brauchen, sind in die Bodenplatten je drei nutenförmige Langlöcher einzufräsen, in die die Rückwände nach der in *Bild 12* dargestellten Art eingestellt werden.

Tabelle 3	Stückliste zu den Bildern 9, 10, 11, 12 u. 8			
Nr.	Einzelteilbezeichnung/Abmaße	erforderlich		Ergänzungen
		GehRa 1	GehRa 2	
1	Oberer Frontplattenträger 690 x 16 x 12	1	1	Hartholz
2	Trägerschiene 690 x 12 x 2	1	1	Aluminium
3	Frontplatte des Netzspannungsverteilers	1		Abmaße siehe Tabelle 3
4/5	Seitenteil 220 x 150 x 16	2	2	Tischlerplatte
6	Rückwandträger 128 x 10 x 10	2		Hartholz
7	Rückwandträger 130 x 10 x 10		2	Hartholz
8	Unterer Frontplattenträger 58 x 22 x 20	1		Hartholz
9	Grundplatte 722 x 220 x 16	1	1	Tischlerplatte
10/11	Standleiste 722 x 15 x 15	2	2	Hartholz
12	Rückwärtiger Chassieträger 690 x 20 x 15	1	1	Hartholz
13	Rückwand 688 x 156 x 4	1	1	Sperrholz (vgl. auch Bild)
14	Innerer Verteilerträger 690 x 20 x 10	1		Hartholz
15	Buchsenstreifen 690 x 40 x 2	1		Aluminium oder Kunststoff
16	Äußerer Verteilerträger 690 x 20 x 10	1	1	Hartholz
17	Deckelplatte 722 x 220 x 16	1	1	Tischlerplatte
18	Frontplatte eines Einschubes	5	10	Abmaße gem. Tabelle 3
19	Grundplatte eines Einschubes	5	10	Abmaße gem. Tabelle 3
20	T-Montageprofil	5	9	Abmaße gem. Tabelle 3
21	U-Montageprofil	5	9	Abmaße gem. Tabelle 3

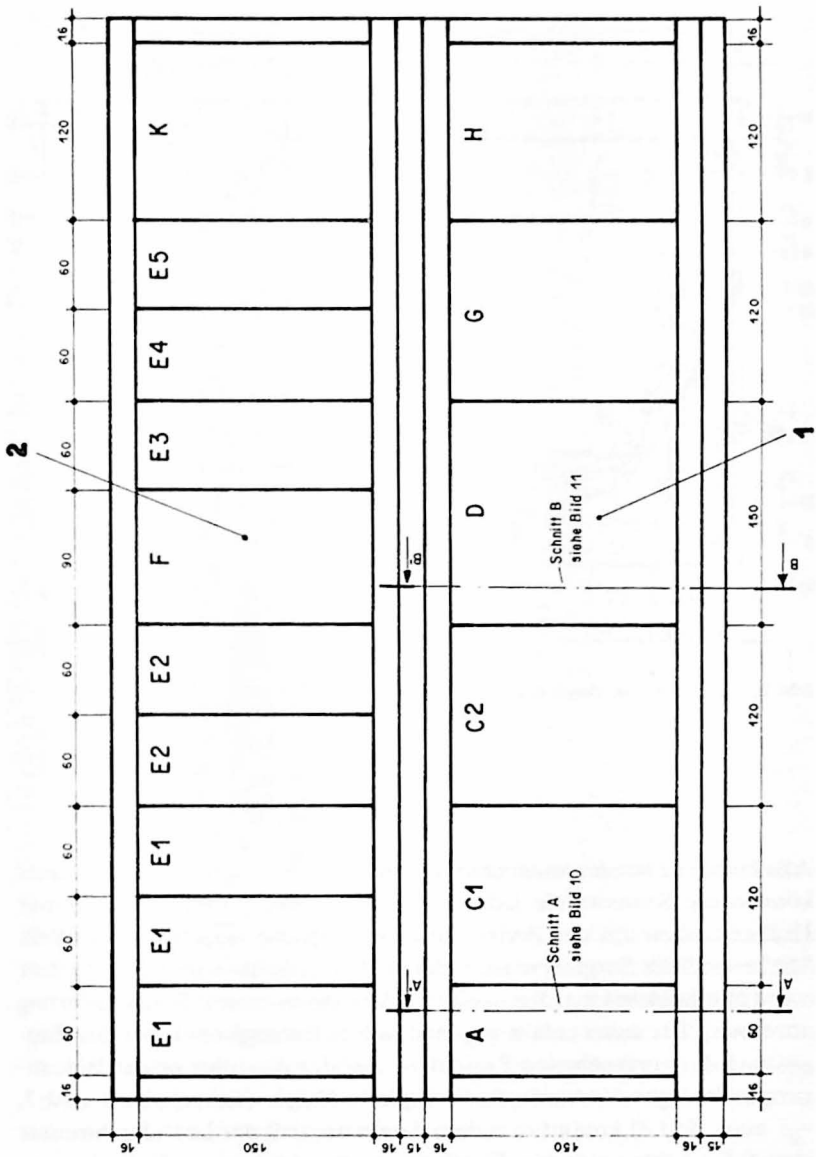


Bild 9. Frontansicht der Gehäuserahmen 1 und 2.

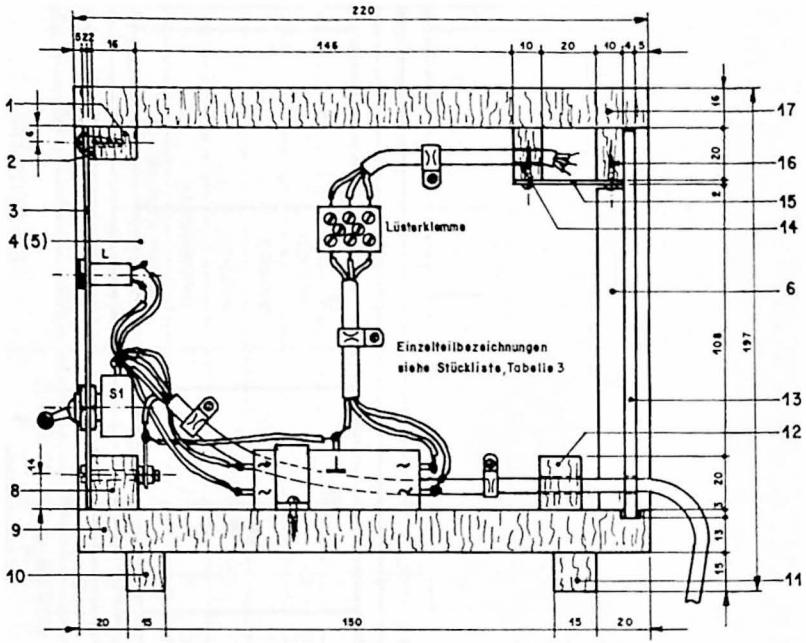


Bild 10. Schnitt A – A' durch den Gehäuserahmen 1.

Alle Holzteile werden miteinander verleimt. Zur Erhöhung der Stabilität können die Seitenwände jedes Gehäuserahmens mittels versenkbarer Holzschrauben mit der Boden- und Deckelplatte verschraubt werden. Mit besonderer Sorgfalt müssen die beiden Trägerleisten (Einzelteile 1 und 12) eingeleimt werden, weil zwischen ihnen exakte Parallelführung notwendig ist; anderenfalls ergeben sich Schwierigkeiten bei der Einpassung der vorgesehenen Einschübe. Bei der Ausführung der Befestigungsbohrungen im vorderen Frontplattenträger (Einzelteile 1 und 2, vgl. auch *Bild 8)* kommt es zudem darauf an, daß der Lochdurchmesser etwa 0,5 – 1 mm unter dem Durchmesser der zugehörigen Befestigungsschrauben bleibt; in *Bild 8* ist er deshalb mit 2,7 mm angegeben. Denn

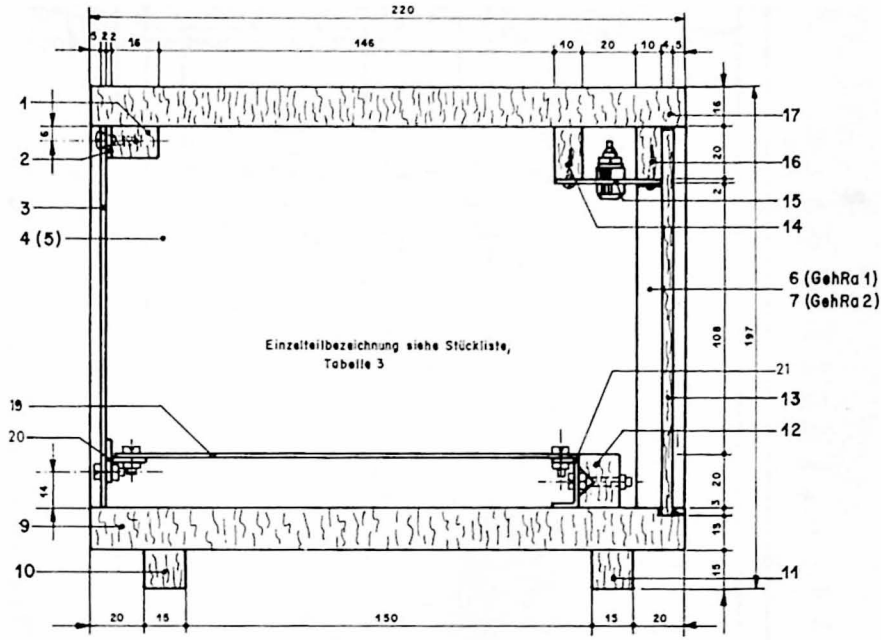
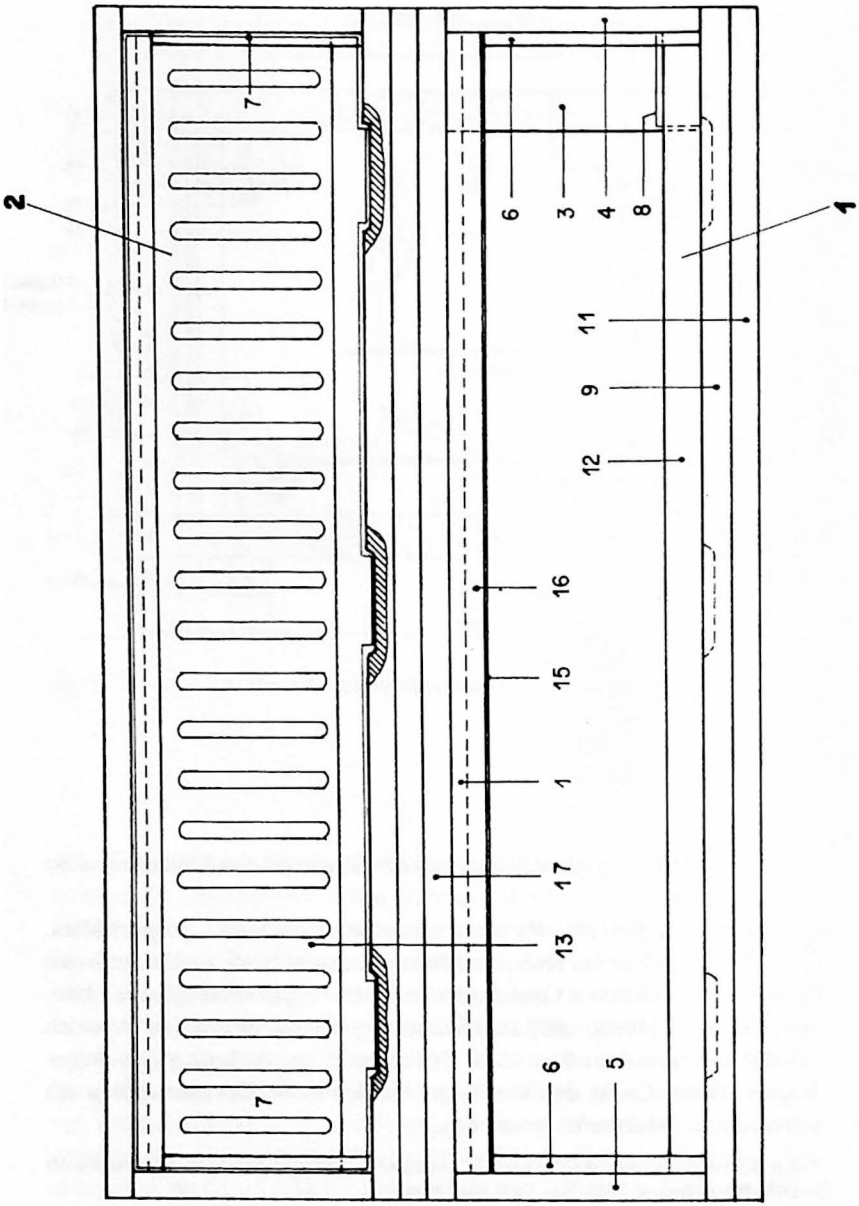


Bild 11. Schnitt B – B' durch den Gehäuserahmen 1.

nur dann schneiden diese Schrauben das Gewinde beim Eindrehen selbst ein.[5]

2.9 Jeder fertiggestellte Rahmen wird allseitig mit Schmirgel geschliffen, schadhafte Stellen im Holz werden verspachtelt. Beide Gehäuserahmen erhalten danach einen Grundanstrich mit einem porenschließenden Lack (sogenannter Hartgrund) zum Schutz gegen Feuchtigkeit. Der Anstrich erfolgt innen wie außen. Zum Schluß wird der Außenanstrich aufgetragen. Beim Gerät des Verfassers wurden beide Gehäuserahmen mit schwarzem Mattlack gestrichen.

[5] Als Befestigungsschrauben werden im Autozubehörhandel erhältliche Blechschrauben der DIN-Bezeichnung 7981/B3, 5 x 9,5 verwendet.


2
1
7
7
6
3
4
8
11
9
12
16
15
1
17
13
6
5

Einbau des Netzspannungshauptschalters in den Gehäuserahmen 1

2.10 Der Gehäuserahmen 1 kann erst dann mit den geplanten Einschüben besetzt werden, wenn er mit dem Netzspannungshauptschalter (Grundbaustein A) und dem Netzspannungsverteiler (Grundbaustein B) ausgestattet ist. Die Schaltungsdetails dieser Bausteine gehen aus den *Bildern 13* und *14* hervor. Beginnen wir mit der Einrüstung des Netzspannungshauptschalters.

2.11 Er besteht aus einer 60 mm breiten Frontplatte, die nach Art der Darstellung in *Bild 5* bzw. *9* ganz links in den Gehäuserahmen 1 fest eingebaut wird. Die Frontplattenauslegung zeigt *Bild 15*. Dazu wird der untere Frontplattenträger (Einzelteil 8) so mit der Bodenplatte des Gehäuserahmens 1 verleimt, daß er einerseits bündig an der linken Seitenwand (von vorne gesehen) anliegt und andererseits genau senkrecht mit der Vorderkante des oberen Frontplattenträgers (Einzelteil 2) fluchtet. Nachdem dann die Frontplatte gebürstet, beschriftet, mit den Bedienelementen bestückt und vorverdrahtet ist, kann sie eingesetzt und am oberen und unteren Rand mit den Frontplattenträgern verschraubt werden. Dazu werden am oberen Frontplattenrand die in der Anmerkung 5 genannten Blechschrauben, am unteren Rand Zylinderkopfschrauben M3 x 25 benutzt. Auf einer der beiden unteren Zylinderkopfschrauben wird eine Lötfahne mit aufgesetzt, die im Zuge der weiteren Verkabelung mit dem Masseanschluß des Wechselstromnetzes (gelb/grüne Ader des Netzkabels) verbunden wird. Auf diese Weise liegt Erdpotential über die Trägerschiene (Einzelteil 2) dann auch an allen übrigen Einschüben. Voraussetzung dazu ist, daß die Trägerschiene beim Schutzanstrich des Gehäuserahmens 1 nicht mit Lack abgedeckt wurde.

2.12 Als Breitbandentstörfilter wird ein im Fachhandel erhältliches Kompaktbauelement eingebaut, das für einen Laststrom von 3 A ausgelegt sein soll. Das Filter kann auch diskret hergestellt werden; das entsprechende Schaltbild zeigt *Bild 14*. Der Aufbau selbst kann entsprechend *Bild 16* vorgenommen werden. Das Filter wird mit einer

Bild 12. (links) Rückansicht der Gehäuserahmen 1 und 2 (Einzelteilbezeichnung gem. Tabelle 3)

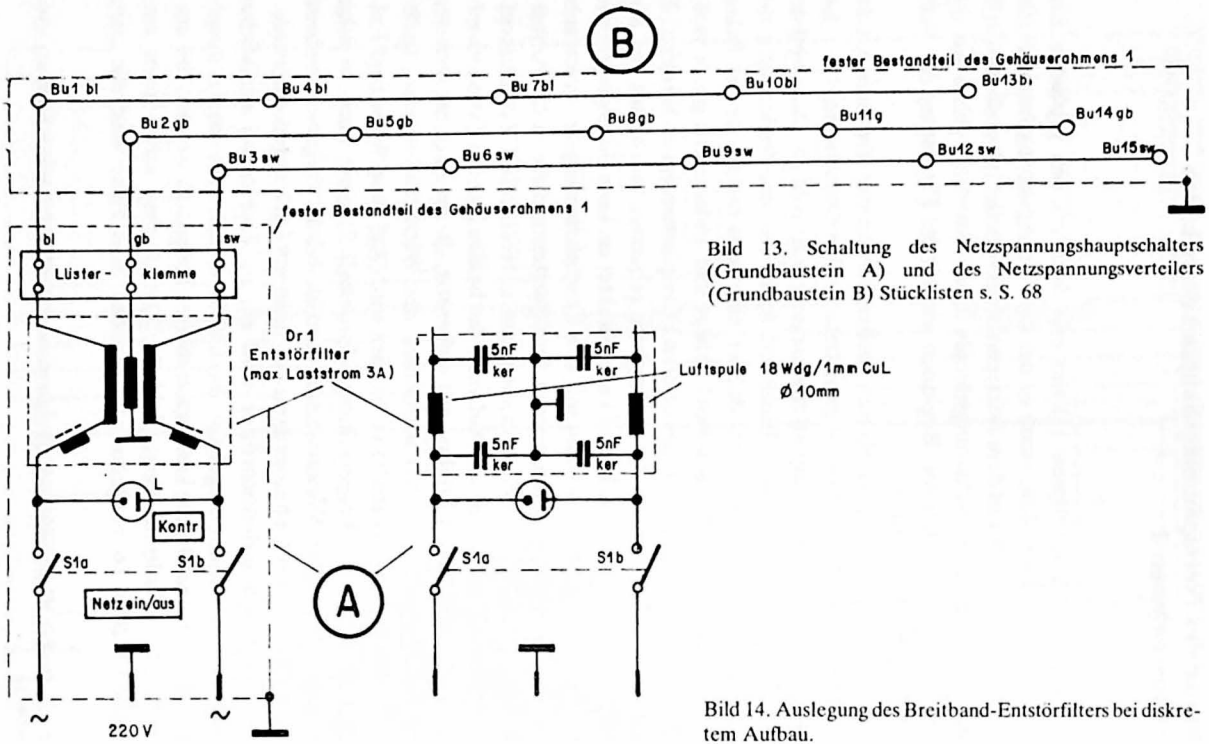
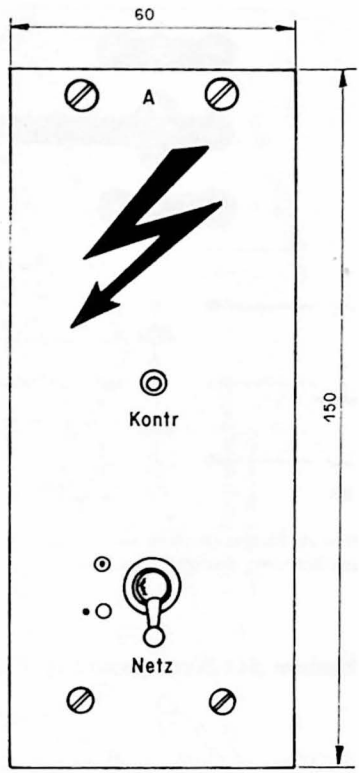


Bild 13. Schaltung des Netzspannungshauptschalters (Grundbaustein A) und des Netzspannungsverteilers (Grundbaustein B) Stücklisten s. S. 68

Bild 14. Auslegung des Breitband-Entstörfilters bei diskretem Aufbau.

Bild 15. Frontplattenauslegung des Netzspannungshauptschalters A.



Schelle oder – bei diskreter Bauweise mittels Abstandsrollen (5 mm lang) an der Bodenplatte befestigt (vgl. *Bild 10)*. Sein Masseanschluß wird ebenfalls mit dem Masseleiter des Lichtnetzes verbunden.

2.13 Für die Gesamtverkabelung des Netzspannungshauptschalters und Breitbandentstörfilters wird dreiadriges Netzkabel mit einem Adernquerschnitt von mindestens 1,5 mm² verwendet. Das Netzkabel ist mit einem Schukostecker zu versehen und nach Durchführung durch den rückwärtigen Chassisträger (Einzelteil 12) mit einer Schelle gegen Zug zu entlasten. Die übrige Verkabelung ist sorgfältig zu verlegen und mit Schellen zu befestigen. Nach Einbeziehung des Netzschalters und der Kontrollampe in die Verdrahtung ist die Netzspannung einer Lüsterklemme zuzuführen, die ebenfalls an der Gehäuseseitenwand befestigt wird. Von dort aus kann sie direkt dem Netzspannungsverteiler zugeführt werden.

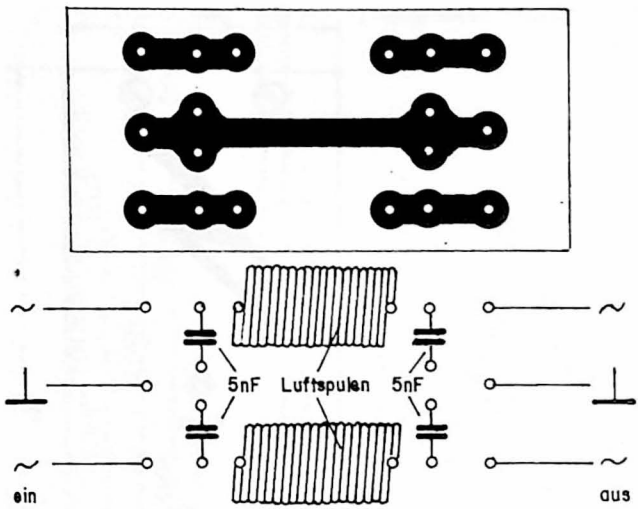


Bild 16. Platine (Ansicht von der Lötseite), Bestückungsplan und Anschlußschema des Entstörfilters bei diskreter Bauweise.

Einbau des Netzspannungsverteilers in den Gehäuserahmen 1

2.14 Zur endgültigen Fertigstellung des Gehäuserahmens 1 fehlt jetzt nur noch der Einbau des Netzspannungsverteilers. Er wird wie der Netzspannungshauptschalter fest in den Gehäuserahmen eingebaut. Auf diese Weise können die mit Netzspannung zu betreibenden Bausteine über Steckverbindungen an das 220 V-Netz angeschlossen werden; und beim Ausbau der Einschübe müssen nicht immer erst Netzkabel abgelötet werden.
Wie aus dem Schaltbild, *Bild 13,* ersichtlich, sind insgesamt 5 Abgreifpunkte zum Anschalten von Bausteinen vorgesehen. Im Labornetzgerät sind jedoch nur 3 (vgl. *Bild 4),* bei einem eigenen Netzteil für den Hochkonstantspannungsregler u.U. 4 Bausteine enthalten, die mit Netzspannung betrieben werden müssen. Somit bleibt mindestens 1 Anschaltpunkt des Netzspannungsverteilers frei verfügbar. Wer z.B. einen „Blindeinschub" anstelle eines in dieser Bauanleitung beschriebenen

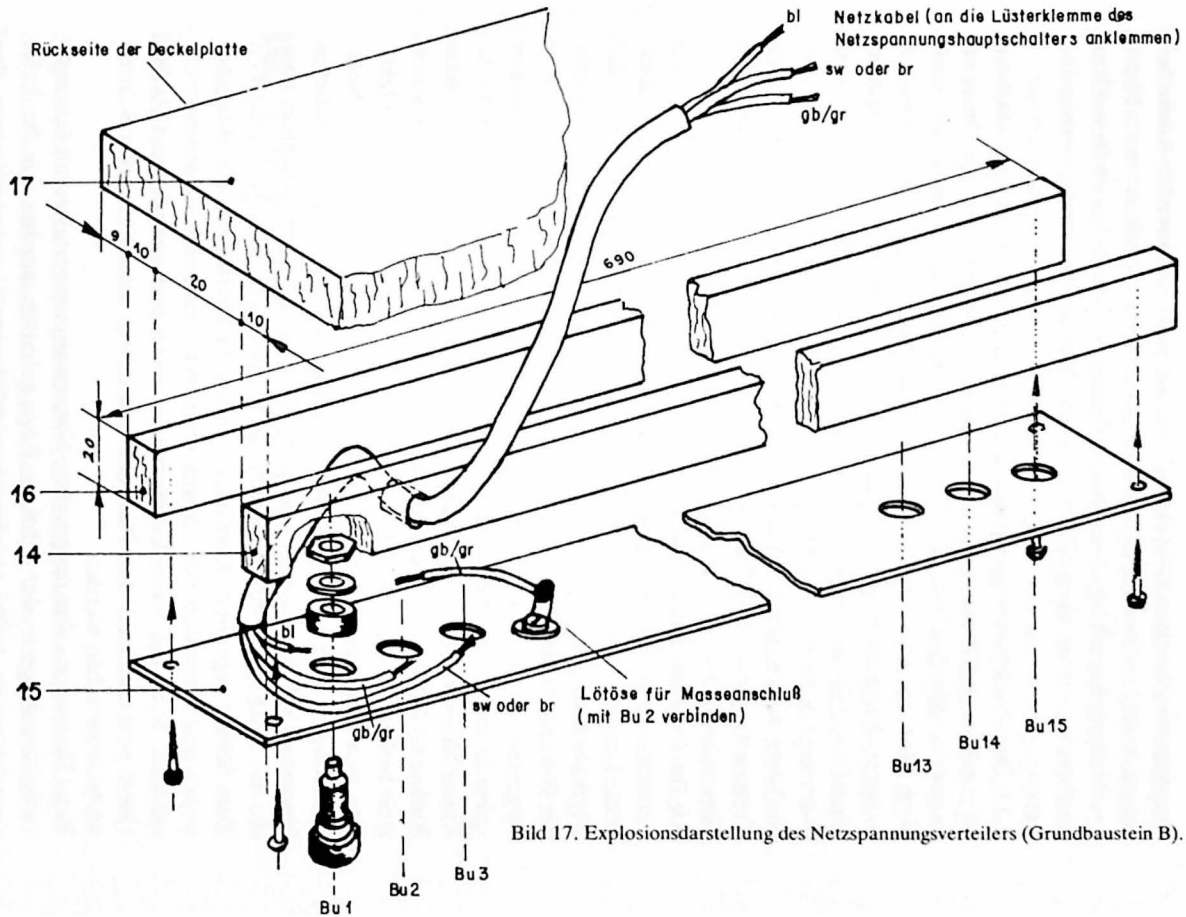


Bild 17. Explosionsdarstellung des Netzspannungsverteilers (Grundbaustein B).

Bausteines in das Schaltfeld einfügt, kann diesen mit einer Steckdose besetzen, so daß auch von der Frontseite des Labornetzgerätes her ein Netzanschluß zugänglich ist; diese Steckdose könnte über den noch freien Anschaltpunkt dann ebenfalls mit dem Wechselstromnetz verbunden werden.

2.15 Der Netzspannungsverteiler besteht aus einem 2 mm starken, 40 mm breiten 690 mm langen Aluminiumblechstreifen, in den Gruppen zu jeweils drei Buchsen für die fünf Anschaltpunkte eingelassen sind. Nach Montage und Verdrahtung der Buchsen werden zwei Holzleisten (innerer Verteilerträger, Einzelteil 14 und äußerer Verteilerträger, Einzelteil 16) so mit dem Buchsenstreifen verschraubt, daß eine U-förmige Schiene entsteht (vgl. *Bild 17* in Verbindung mit *Bild 11*). Nachdem das Netzkabel durch eine entsprechende Bohrung im inneren Verteilerträger durchgeführt ist, kann diese Schiene komplett in den Gehäuserahmen 1 eingesetzt und mit der Deckelplatte verleimt werden.

Als Buchsen werden zweckmäßig ein schwarz-, blau- und gelbfarbenes Exemplar je Anschaltpunkt verwendet. In Frage kommen nur vollisolierte Typen mit einem Innendurchmesser von 4 mm. Der Nulleiter des Netzkabels wird mit den gelben Buchsen verbunden. Vor dem Einsetzen der Buchsen in den Buchsenstreifen sind alle Bohrungen säuberlich zu entgraten. Dadurch wird vermieden, daß sich bei der Montage Bohrspäne in die Isolierung der jeweiligen Buchse eindrücken und u.U. zu Kurzschlüssen zwischen Buchse und Buchsenstreifen führen. Jede Buchse ist daher nach ihrer Montage trotzdem noch einmal auf einwandfreie Isolierung gegenüber dem Buchsenstreifen zu prüfen (Ohmmeter!). Vor dem endgültigen Einbau ist die Gesamtverdrahtung des Netzspannungsverteilers überdies noch einmal genau zu überprüfen. Dabei ist besonders auf eine einwandfreie Lötstelle an der Lötöse zu achten, über die der Buchsenstreifen insgesamt an Erdpotential liegt (vgl. *Bild 17*). Zum Schutz gegenüber Korrosion werden darüberhinaus alle Buchsenenden und Lötstellen mit Lötlack abgedeckt. Es kann außerdem nicht schaden, wenn die Verteilerträger von innen und außen ebenfalls mit einem porenschließenden Hartlack und einem anschließenden Schutzanstrich versehen werden.

Beim Einleimen sollte der gesamte Netzspannungsverteiler mit Schraubzwingen solange in der richtigen Lage gehalten werden, bis der Leim ausgehärtet ist. Sollte es hernach wirklich einmal notwendig sein, den

Verteiler öffnen zu müssen, ist dies trotz eingeleimter Verteilerträger möglich, indem die kleinen Holzschrauben gelöst werden, mittels derer der Buchsenstreifen an den Verteilerträgern festgeschraubt ist.

2.16 Der Aufbau des Gehäuserahmens 1 ist abgeschlossen, wenn der Netzspannungsverteiler zuguterletzt über das aus ihm herausragende Netzkabelende mit der Lüsterklemme verbunden ist, die beim Aufbau des Netzspannungshauptschalters bereits montiert wurde. Wird das Netzkabel in eine Steckdose eingesteckt und der Netzschalter in Ein-Stellung gebracht, muß die Netzspannung in voller Höhe an allen Anschaltpunkten gemessen werden können (220 V ± 10 %). Im eingeschalteten Zustand muß außerdem die Kontrolleuchte des Netzspannungshauptschalters leuchten.

2.17 In den Gehäuserahmen 2 wird weder ein Netzspannungshauptschalter noch ein Netzspannungsverteiler eingebaut. Als einziges Bauteil bleibt der äußere Verteilerträger erhalten (Einzelteil 16). Er dient aber nur noch als Befestigungselement für die später einzusetzende Rückwand. Diese Funktion hat er naturgemäß auch im Gehäuserahmen 1.

Die Rückwände beider Gehäuserahmen werden aus 4 mm-Sperrholz gefertigt und mit 10 mm breiten Wärmeaustauschschlitzen versehen (vgl. *Bild 12;* dort ist nur die Rückwand des Gehäuserahmens 2 angedeutet, sie ist jedoch für den Gehäuserahmen 1 in derselben Form auszuführen). Erhalten die Rückwände die in *Bild 12* erkennbaren drei Einstellnasen, bedarf es bei der Montage der Rückwände nur noch weniger Holzschrauben (maximal 10 mm lang), um die Wände endgültig zu fixieren.

III. Die Elektronik der Einschübe

1. Vorbemerkung

Zugegeben – für den passionierten Hobbyelektroniker steht der Gehäusebau nicht gerade im Mittelpunkt seiner Liebhaberei. Dennoch kommt man beim Universal-Spannungslabor nicht ganz an der

„Mechanik" vorbei, wenn die Sache ein wenig System haben soll. Nach der Fertigstellung des Gehäuserahmens 1 wollen wir uns daher nun den elektronischen Einbauten zuwenden, die in diesem Gehäuserahmen untergebracht sind. Halten wir uns an die unter Nr. 2.1 empfohlene Reihenfolge, steht als erster Baustein einer der beiden Netztransformatoreinschübe auf dem Programm.
Vorangestellt seien jedoch noch einige Anmerkungen zur weiteren Baubeschreibung. Zunächst wird eine Reihe von Aufbauhinweisen und Tips gegeben, die für den Aufbau und die Zusammenschaltung aller Bausteine gelten und daher nicht in jedem Abschnitt der Wiederholung bedürfen. Daran anschließend gibt es für jeden Baustein eine Selbstbauanleitung. Jede dieser Baubeschreibungen gliedert sich in drei Teile. Sie beginnt stets mit einer Schaltbildkurzbeschreibung, in der die Wirkungsweise der Baugruppe erklärt wird. Die für den Nachbau erforderlichen Konstruktionszeichnungen bilden den eigentlichen Kern der Beschreibung. Den Abschluß bildet bei jedem Baustein eine Zusammenstellung der wichtigsten Anwendungsbeispiele. Durch diese Einteilung ist es möglich, von der unter Nr. 2.1 festgelegten Reihenfolge nach eigenem Gutdünken abzuweichen, ohne jedesmal an den unterschiedlichsten Stellen des vorliegenden Bandes Einzelheiten zum Nachbau nachschlagen zu müssen.

2. Hinweise und Tips für den Aufbau und die Zusammenschaltung der Bausteine

3.1 Bevor die Elektronik der Bausteine C . . . K in die Gehäuserahmen eingebaut werden kann, muß für jeden Baustein der passende Leereinschub gefertigt werden. Anzahl und Abmessungen aller Einschübe sind aus den *Bildern 4* und *9* sowie aus *Tabelle 2* ersichtlich. Da die Front- und Grundplatten der Einschübe (vgl. *Bild 8*, Einzelteile 18 und 19) außer der jeweiligen Einbaubreite ansonsten gleiche Abmessungen aufweisen, kann man sich ihre Herstellung erleichtern, indem zunächst je zwei Front- und zwei Grundplatten als ganze Bleche vorbereitet werden, die die Gesamtbreite der Gehäuserahmen einnehmen (diese beträgt beim Gehäuserahmen 1 wegen der bereits eingebauten Frontplatte des Netz-

spannungshauptschalters 630 mm, beim Gehäuserahmen 2 690 mm). Diese Großbleche werden – nachdem sie als Ganzes in die Gehäuserahmen eingepaßt worden sind – mit einem feinen Metallsägeblatt (Laubsäge oder Dekupiersäge) in die jeweils erforderlichen Einzelfront- und -grundplatten zertrennt. Wird beim Anreißen der Schnittlinien bereits die aus *Bild 9* ersichtliche Anordnung der Einschübe zugrundegelegt, lassen sich die einzelnen Einschübe beim Einbau in die Gehäuserahmen nahezu nahtlos aneinanderfügen.

Von Vorteil ist auch, alle Befestigungs- und Montagebohrungen in Front- und Grundplatten auszuführen, bevor die Großbleche in die Einzelbleche zerlegt werden. Beim Bohren der Befestigungslöcher am oberen Frontplattenrand sollte außerdem die zugehörige Trägerschiene (vgl. *Bild 8*, Einzelteil 2) bündig unterlegt (mittels Schraubzwingen gut festlegen!) und mitgebohrt werden. Dadurch wird erreicht, daß die Befestigungslöcher der einzelnen Frontplatten beim Einsetzen der Einschübe in den jeweiligen Gehäuserahmen genau mit den Gewindebohrungen der Trägerschiene fluchten.

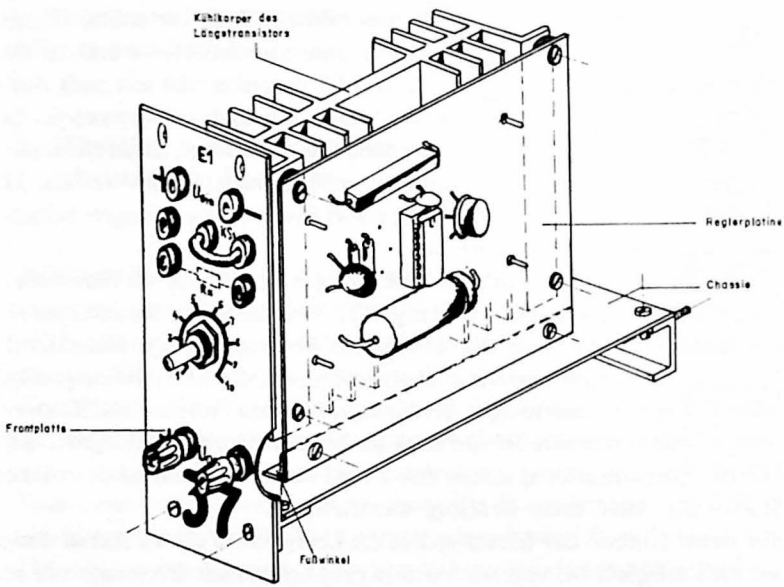
3.2 Damit auch die Trägerschiene im Gehäuserahmen 2 an Erdpotential liegt, ist es notwendig, sie galvanisch mit der Trägerschiene oder dem Chassis der Einschübe des Gehäuserahmens 1 zu verbinden. Hierzu werden zwei nichtisolierte Buchsen (Innendurchmesser 4 mm) in die Grundplatten der Einschübe C1 und E1 eingeschraubt und nach Aufstellung der Gehäuserahmen mit einer Schaltschnur verbunden. Es empfiehlt sich nicht, diese Verbindung fest zu verlöten, da die Gehäuserahmen u.U. nicht über-, sondern nebeneinandergestellt werden. In diesem Falle kann die Verbindung sofort über eine etwas längere Schaltschnur wiederhergestellt werden.

3.3 Eine Anmerkung auch zur rückwärtigen Befestigung der Einschübe. Wie aus der Explosionsdarstellung, *Bild 7* und der Schnittansicht, *Bild 11* hervorgeht, werden in das U-förmige Montageprofil je Einschub 2 Zylinderkopfschrauben M3 x 25 eingeschraubt, die durch Bohrungen im rückwärtigen Chassisträger hindurchgeführt und mittels einer Kontermutter fixiert werden. Besser noch als Sechskantmuttern M3 eignen sich hierfür Flügelmuttern, sofern ihre Flügel nicht soweit ausladen, daß die Rückwand nicht mehr befestigt werden kann.

3.4 Beim Einbau der Elektronik in die Leereinschübe wird überall dort, wo dies möglich ist, von der Vorfertigung bestimmter Schaltungsteile in

Form gedruckter Schaltungen Gebrauch gemacht. Die dazu erforderliche Auslegung der Leiterplatten ist in den folgenden Abschnitten bausteinzugehörig abgebildet. Die Abbildungen sind ausnahmslos im Maßstab 1:1 gehalten und stellen jeweils die Leiterbahnführung auf der Lötseite dar. Daher ist es möglich, sie vom Bild weg – z.B. mit Hilfe des Color-Key-Verfahrens – direkt auf die Leiterplattenrohlinge zu übertragen. Wer ein etwas preisgünstigeres Verfahren anwenden will, markiert die Bohrstellen auf einem über das Leiterbahnbild gelegten Blatt Transparentpapier, körnt sie an Hand dieser Vorlage auf der kupferkaschierten Seite des Leiterplattenrohlings an und klebt die Leiterbahnen mit Hilfe der dafür im Fachhandel erhältlichen Selbstklebesymbole auf der Kupferschicht nach. Wenn dies sorgfältig durchgeführt wird, gibt es – was das Aussehen der fertigen Platinen anbelangt – kaum Unterschiede zu den auf phototechnischem Wege transferierten Leiterplatten. Dies als Hinweis für all jene, die Freude an so etwas wie „Schönheit der Arbeit" haben.

Bild 18. Anhalt für den Aufbau von Konstantspannungsreglern in Modultechnik (ohne interne Verdrahtung).



Als Basismaterial ist Epoxyharz dem Hartpapier vorzuziehen, weil es mechanisch stabiler ist. Denn auf hohe Stabilität kommt es überall dort an, wo die Leiterplatten mit den Hochleistungskühlkörpern der Längsregeltransistoren nach Art des *Bildes 18* zu kompletten Modulen zusammengefügt und mittels eines Fußwinkels senkrecht im Einschub montiert werden.

Daß überall dort, wo die Leiterplatten mit Transistoren oder Integrierten Schaltungen bestückt sind, Transistor- bzw. IS-Sockel/-Fassungen vorzusehen sind, wurde bereits im Zusammenhang mit der Reparaturfreundlichkeit der einzelnen Einschübe (vgl. Nr. 1.6, 5. Strichaufzählung) erwähnt. An den Punkten, an denen Lötnägel in die Leiterplatten einzusetzen sind, müssen die Lötaugen genügend groß gehalten sein, um mechanisch stabile Lötstellen zu ermöglichen. Über diese Lötnägel werden die Ein- und Ausgangsleitungen mit der jeweiligen Leiterplatte verbunden.

3.5 Die Laststrom führenden Ein- und Ausgangsleitungen der einzelnen Bausteine sind in den zugehörigen Schaltbildern durch Fettdruck hervorgehoben. Sofern es sich dabei um die Leitungsteile zwischen Buchsen an der Frontplatte und Leiterplatte handelt, werden diese (vgl. ebenfalls Nr. 1.6) mittels versilbertem Schaltdraht hergestellt, der mit einem Isolierschlauchüberzug versehen wird. Setzen sich diese Leitungen als Leiterbahnen auf der Platine fort, sind die Leiterbahnen extra stark zu verzinnen. Man kann auch ein entsprechend geformtes Stück versilberten Schaltdraht auf sie auflöten. Zur Befestigung der Zuführungsleitungen (aufgrund der Drahtstärke von 1,5 mm freitragend) ist es zweckmäßig, jede Buchse mit einer Lötöse zu versehen. Hierzu eignen sich die in der Fahrzeugelektronik üblichen Flachsteckkontakte sehr gut, wenn ihre Befestigungsbohrung dem Buchsendurchmesser angepaßt wird. Die Zuleitungen zwischen den Buchsen und der Leiterplatte können nämlich beiderseits mit passenden Kabelschuhen versehen werden und sind dann steckbar; ein weiteres Indiz für die Reparaturfreundlichkeit der einzelnen Einschübe!

3.6 Bedienungselemente wie Einstellregler, Schalter, Anzeigeelemente u.ä. werden nicht über Lötnägel, sondern über direkt in die Leiterplatte eingelötete Zuleitungen angeschlossen. Sollte es wirklich einmal notwendig sein, die Elektronik eines Einschubes komplett auszubauen, dann können sie leicht auch aus der Frontplatte gelöst werden.

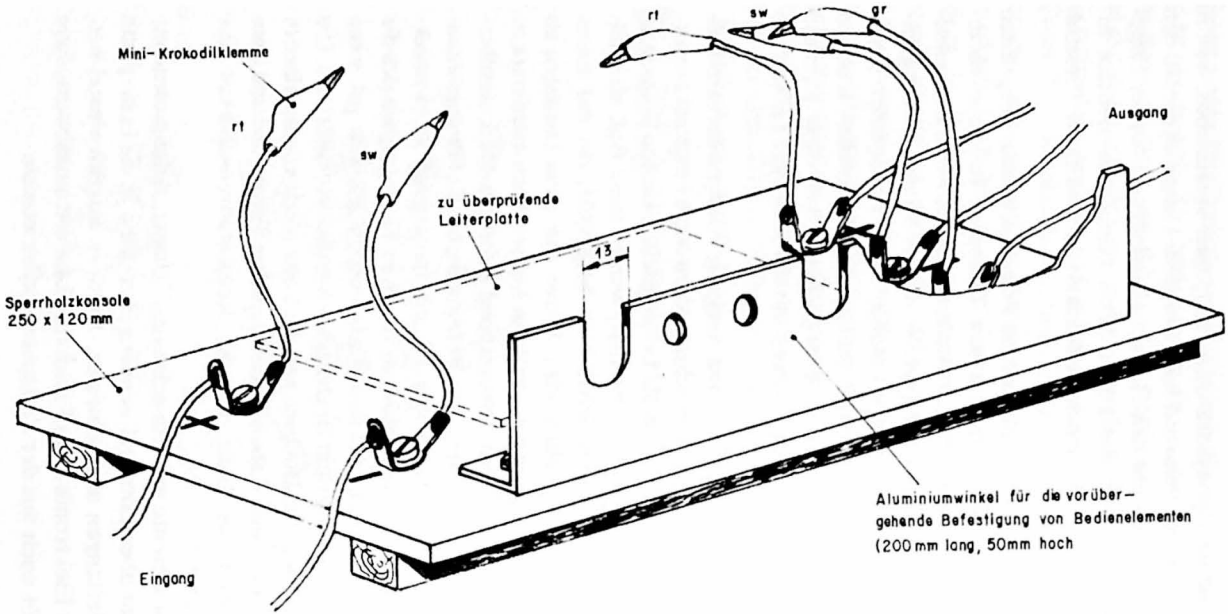


Bild 19. Hilfsmittel für die externe Funktionsüberprüfung fertig bestückter Leiterplatten.

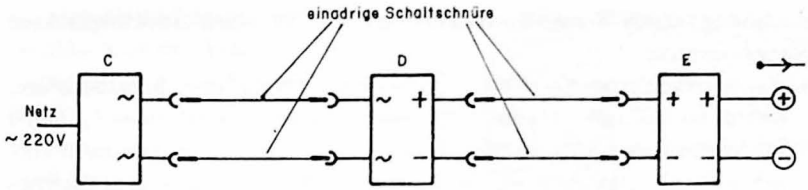


Bild 20. Prinzip der Zusammenschaltung von Bausteinen des Universal-Spannungslabors.

3.7 Jede fertig bestückte und mit allen Bedienelementen verbundene Leiterplatte wird vor dem endgültigen Einbau in den Leereinschub in einem externen Prüfschaltungsaufbau auf Funktionsfähigkeit geprüft. Soweit dazu ein Grundabgleich erforderlich ist, wird dieser in die Funktionsüberprüfung einbezogen. Das Verfahren der externen Funktionsüberprüfung ist zwar ein wenig umständlich, erweist sich jedoch immer dann als besonders vorteilhaft, wenn es sich um Leiterplatten handelt, die nach dem Einbau nur noch schwer zugänglich sind. Als Hilfsmittel läßt sich eine Anordnung benutzen, die mit einfachen Mitteln aufgebaut und jederzeit und bei allen Einschüben wiederverwendet werden kann. Die erforderlichen Einzelheiten zeigt *Bild 19.*

Im Anschluß an die Funktionsüberprüfung wird die Lötseite jeder Leiterplatte mit einem Lötlackanstrich versehen. Lötlack sollte deshalb verwendet werden, weil er gestattet, auch dann noch Lötarbeiten an der Leiterplatte auszuführen (z.B. bei Reparaturen), wenn die Platte insgesamt bereits versiegelt ist.

3.8 Damit die fertiggestellten Bausteine entsprechend den am Schluß jeder Bausteinbeschreibung zusammengestellten Anwendungsbeispielen in Betrieb genommen werden können, bedarf es vorab auch bereits einiger Hinweise für das Zusammenschalten der Bausteine. Das Grundprinzip der Zusammenschaltung zeigt *Bild 20.* Wie hier dargestellt erfolgt das Zusammenschalten der Bausteine mit Hilfe von Schaltbrücken zwischen dem Ausgang des im Spannungsversorgungszug jeweils vorwegstehenden Bausteines und dem Eingang des nächstfolgenden. Für eine Schaltbrücke sind immer 2 einpolige Schaltschnüre erforderlich, die beidseitig mit Büschelsteckern versehen sind. Je mehr Schaltbrücken für den Aufbau eines Spannungsversorgungszuges benötigt werden desto größer ist die Anzahl der hierfür erforderlichen Schaltschnüre. Die Grundausstattung mit Schaltschnüren sollte dem

Rechnung tragen. Sie wird zweckmäßig nach folgenden Gesichtspunkten vorgenommen:

- Am preisgünstigsten ist die Selbstherstellung der Schaltschnüre, indem hochflexible Meßlitze (Adernquerschnitt mindestens 1,5 mm²) als Meterware beschafft und mit den entsprechenden Adaptern versehen wird. Die Adapter können ebenfalls nach Mengenrabattbedingungen eingekauft werden. Bei der Farbgebung der Litze und der Isolierstoffhülsen der Adapter beachtet man zweckmäßig die Zuordnung gemäß Nr. 2.7, 4. Strichaufzählung.
- Es empfiehlt sich, der Selbstanfertigung die in der *Tabelle 4* angegebenen Längenabstufungen und Umfangszahlen zugrundezulegen.

Tabelle 4 Angaben zur Beschaffung von Schaltschnüren für das Universal-Spannungslabor

Anzahl	Länge in cm (ohne Stecker)	Farbe	Verwendung
12	10	gb	Schaltbrücken für die Serienschaltung von Sekundärwicklungen
6	25	gb	Schaltbrücken zwischen den Netztransformatoren und dem Netzgleichrichtereinschub
10	25	5 rt 5 sw	Schaltbrücken zwischen dem Netzgleichrichtereinschub und Folgebausteinen oder zwischen Folgebausteinen
20	50	10 rt 10 sw	” ”
15	100	6 rt 6 sw 3 gr	Speiseleitungen für den Anschluß von Verbrauchern

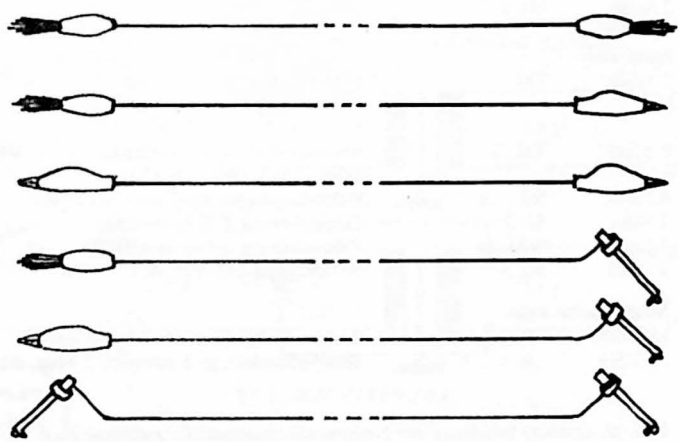
Bei den in der Tabelle angegebenen Umfangszahlen handelt es sich um

eine Grundausstattung, die natürlich beliebig erweitert werden kann.

– Als Adapter kommen in Frage:
  zum einen Büschelstecker für alle Schaltbrücken zwischen Bausteinen des Universal-Spannungslabor.
  Zum anderen Miniatur-Krokodilklemmen und Miniatur-Allzweck-Klemmprüfspitzen für Speiseleitungen.
  Welche Möglichkeiten der Ausstattung der Schaltschnüre sich damit ergeben, geht aus *Bild 21* hervor.

3.9 Das Zusammenschalten der einzelnen Bausteine des Universal-Spannungslabors ist nun natürlich nicht nur eine Frage des Einfügens von Schaltbrücken. Es erfolgt vielmehr nach bestimmten Regeln, deren Beachtung erforderlich ist, damit Schaltfehler vermieden und ein hohes Maß an Handhabungssicherheit gewährleistet werden. Im vierten Abschnitt sind daher alle für die Inbetriebnahme und die Handhabung des Gerätes zu beachtenden Regeln aufgeführt. Bevor daher die einzelnen Bausteine nach ihrer Fertigstellung endgültig in Betrieb genommen werden, sei die Lektüre dieses Abschnittes empfohlen. Und mit diesem Hinweis wollen wir uns nun endgültig der Elektronik der Einschübe zuwenden.

Bild 21. Ausstattung der Schaltschnüre mit Adaptern.



3. Der Aufbau der Einschübe für den Gehäuserahmen 1

Die Netztransformatoreinschübe

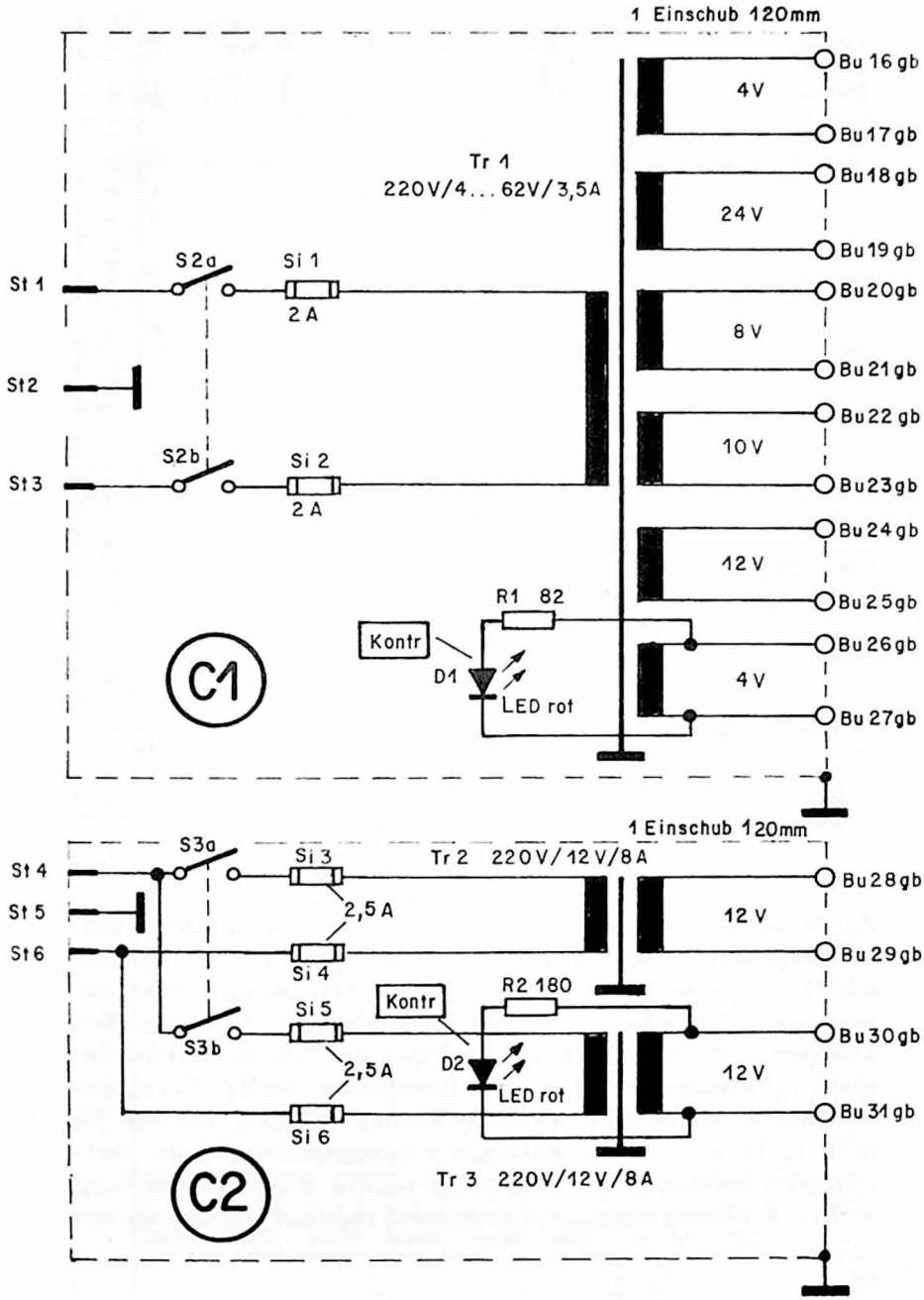
a. Schaltbildkurzbeschreibung

3.10 Zur Gewinnung der Niederwechselspannungen aus der Netzspannung werden 3 Trenntransformatoren eingesetzt. Ihre Daten gehen aus dem Schaltbild *(Bild 22)* und aus der Stückliste C hervor. Die Netztransformatoren werden, wie das Schaltbild veranschaulicht, in 2 Einschüben mit einer Einbaubreite von jeweils 120 mm untergebracht, und zwar Tr1 im Einschub C1 und Tr2/Tr3 im Einschub C2. Es können selbstverständlich auch Netztransformatoren ähnlicher Auslegung verwendet werden. Die Belastbarkeit der Sekundärwicklungen sollte jedoch die im Schaltbild angegebenen Werte nicht nennenswert unterschreiten, da die universelle Einsetzbarkeit des Labornetzgerätes sonst beträchtlich eingeschränkt würde.

Stückliste C Netztransformatoreinschübe, Grundbausteine C1 und C2

Widerstände		
1 Stück	R1	82 Ohm/0,25 W
1 Stück	R2	180 Ohm/0,25 W
Halbleiter		
2 Stück	D1, 2	LED, rot
Spezialteile		
1 Stück*	Tr1	Netztransformator (Trenntyp) Kern M102b/180VA Prim: 220 V/Sek: 2 x 4 V, 1 x 8 V, 1 x 10 V, 1 x 12 V, 1 x 24 V/3,5 A
2 Stück*	Tr2, 3	Netztransformator (Trenntyp) Kern M85/32, 100 VA Prim: 220 V/Sek: 1 x 12 V/8 A
6 Stück	Si1 . . .6	Sicherungshalter für Einlochmontage
2 Stück	Si1,2	Feinsicherung 2 A mittelträge
4 Stück	Si3 . . .6	Feinsicherung 2,5 A mittelträge
2 Stück	S2, 3	Netzschalter 220 V/5 A 2 x AUS
Mechanische Teile		
16 Stück	Bu16 . . .31	Buchse, vollisoliert, Innen Ø 4 mm
6 Stück	St 1 . . .6	Büschelstecker, je 2 schwarz, 2 blau, 2 gelb

Bild 22. (rechts) Schaltung der Netztransformatoren (Grundbaustein in C).


1 Einschub 120mm
Tr 1
220V/4...62V/3,5A
St 1
S2a
Si 1
2 A
St2
St3
S2b
Si 2
2 A
4V
24 V
8 V
10 V
12 V
4 V
Bu 16 gb
Bu17 gb
Bu18 gb
Bu19 gb
Bu20gb
Bu 21 gb
Bu 22 gb
Bu23gb
Bu 24 gb
Bu 25gb
Bu 26gb
Bu 27gb
R1 82
Kontr
D1
LED rot
C1
1 Einschub 120mm
St 4
St 5
St 6
S3a
Si 3
2,5 A
Si 4
Tr 2 220V/12V/8A
12 V
Bu 28gb
Bu 29gb
R2 180
Kontr
Si 5
S3b
2,5A
D2
LED rot
12 V
Bu 30gb
Bu 31 gb
Si 6
C2
Tr 3 220V/12V/8A

2 Stück		Netzkabel 220 V, 3-adrig, 30 cm lang
2 Stück		Lötöse
2 Stück		Kabelbefestigungsschelle
16 Stück		Steckkontakte
16 Stück		Kabelschuhe

* Siehe Bezugsquellennachweis, Weber/Herford für Tr1 und Conrad/Hirschau für Tr2

Stückliste A Netzspannungshauptschalter, Grundbaustein A

Spezialteile

1 Stück	Dr1	Netzentstörfilter 220 V/3 A
1 Stück	L	Glimmlampe 220 V
1 Stück	S1a, b	Netzschalter 220 V, 5 A
2 Stück		Luftspule 18 Wdg, Ø 10 mm, 1 mm CuL*
1 Stück		Platine gem. Bild 16*

Mechanische Teile

1 Stück	Lüsterklemme, 3 polig
1 Stück	Netzkabel 220 V, 3 adrig, 2,5 m lang, mit Schukostecker
div.	Kabelbefestigungsschellen

Kondensatoren

4 Stück	5 nF, 400 V Keramik*

* Nur erforderlich, wenn das Netzentstörfilter diskret aufgebaut wird

Stückliste B Netzspannungsverteiler, Grundbaustein B

Mechanische Teile

15 Stück	Bu1 . . .15	Buchse, vollisoliert, Innen Ø 4 mm, je 5 gelb, 5 blau, 5 schwarz
1 Stück		Alublechschiene 690 x 40 x 2 mm
1 Stück		Netzkabel 220 V, 3 adrig, 100 cm lang
div.		Holzschrauben, 10 mm lang

Zur Niederspannungsgewinnung können natürlich auch Ringkernregeltransformatoren herangezogen werden. Sie eignen sich für einen einschubförmigen Aufbau wegen ihrer äußeren Abmessungen jedoch nur, wenn diese das Einbauvolumen der Einschübe C1 und C2 nicht überschreiten. Dies ist in der Regel bei Typen der Fall, deren Sekundärspannung maximal 60 V bei 2,5 A Belastbarkeit beträgt. Regeltransformatoren mit höherer Sekundärspannungsauslegung kommen gar nicht in Frage, weil die zulässigen Eingangsspannungen der nachfolgenden Bausteine sonst überschritten würden. Bei der Entscheidung, ob statt der Festspannungstransformatoren regelbare Typen eingesetzt

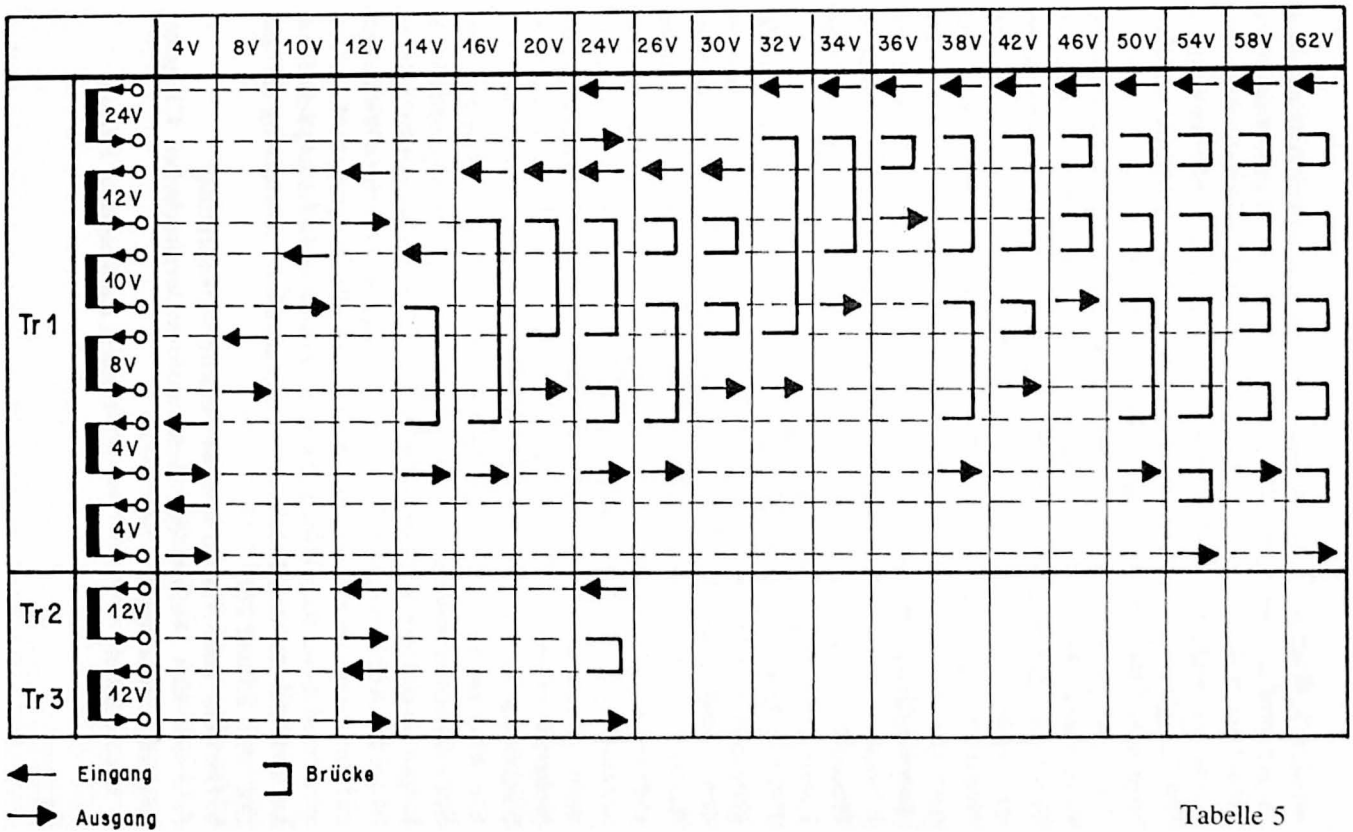

4V
8V
10V
12V
14V
16V
20V
24V
26V
30V
32V
34V
36V
38V
42V
46V
50V
54V
58V
62V
Tr1
24V
12V
10V
8V
4V
4V
Tr2
12V
Tr3
12V
Eingang
Ausgang
Brücke

Tabelle 5

werden sollen, ist darüberhinaus zu berücksichtigen, daß an einem Regeltransformator nur eine Sekundärspannung abgegriffen werden kann; der Vorteil des gleichzeitigen Abgreifens mehrerer Sekundärspannungen und damit verbunden der Gleichzeitigkeitsbetrieb mehrerer Spannungsversorgungszüge würde aufgegeben. Wie am Ende verfahren wird, muß daher dem jeweiligen Einzelinteresse überlassen bleiben.

3.11 Jeder der im Schaltbild, *Bild 22* angegebenen Netztransformatoren ist im Primärstromkreis extra abgesichert. Die Sicherungen sind von der Frontplatte her zugänglich. Die Netzspannung wird über ein Netzkabel, das an den Netzspannungsverteiler angeschlossen ist, und über einen Netzspannungsschalter (S2 und S3) jedem der beiden Einschübe C1/C2 getrennt zugeführt. So ist es möglich, bei eingeschaltetem Netzspannungshauptschalter nur jeweils den gerade erforderlichen Transformatoreinschub in Betrieb zu nehmen. Die Betriebsbereitschaft des Einschubes wird jeweils mittels einer im Sekundärkreis angeordneten Luminiszenzdiode (rot) angezeigt.

3.12 Die Ein- und Ausgänge aller Sekundärwicklungen sind – den eingängig dargestellten Anforderungen gemäß (vgl. dazu Nr. 1.4, insbesondere 6. und 7. Strichaufzählung) – getrennt auf Buchsen herausgeführt. Bei der im Schaltbild angegebenen Dimensionierung der Netztransformatoren ist es somit möglich, die in der *Tabelle 5* zusammengestellten Sekundärspannungswerte abzugreifen. Obwohl dies in der *Tabelle 5* nicht im einzelnen dargestellt ist, können die Sekundärwicklungen der Netztransformatoren 2 und 3 natürlich ebenfalls mit denen des Netztransformators 1 in Serie geschaltet werden.

Ein Wort zur Serienschaltung der Sekundärwicklungen. Die einzelnen Sekundärspannungen addieren sich nur dann, wenn die einzelnen Wicklungen im gleichen Wicklungssinn zusammengeschaltet werden. Hierauf ist bei der Aufführung der Ein- und Ausgänge der einzelnen Wicklungen auf die Ausgangsbuchsen zu achten. Sind alle Ausgangsbuchsen entsprechend dieser Regel belegt, kann die Zusammenschaltung ausnahmslos nach der auf den Frontplatten angegebenen Pfeilrichtung erfolgen (vgl. *Bild 23* und *26)*.

b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung

3.13 Für den Aufbau des Netztransformatoreinschubes C1 gelten folgende Grundlagen:

– Leereinschub 1 Stück, Einbaubreite 120 mm

- Frontplattenauslegung — gemäß Bild 23 (Anhalt)
- Bauelemente — gemäß Stückliste C
- Anordnung der Bauelemente im Einschub — gemäß Bild 24 (Anhalt)
- Reihenfolge des Aufbaus

1. Aufbau des Leereinschubes einschließlich Frontplattenbeschriftung und -bestückung
2. Verdrahtung des Netzschalters, der Netzsicherungen und der Kontrollleuchte
3. Verdrahtung des Netztransformators gemäß Bild 25
4. Aufsetzen des Netztransformators auf die Grundplatte
5. Anschließen des Netzkabels gemäß Bild 24
6. Kabelschuhe der sekundärseitigen Ein/Ausgänge auf die gemäß Frontplattenauslegung zugeordneten Ausgangsbuchsen aufstecken (vgl. Bild 25)
7. Verdrahtungskontrolle vor der Funktionsüberprüfung
8. Funktionsüberprüfung
9. Einbau in den Gehäuserahmen 1

3.14 Für den Aufbau des Netztransformatoreinschubes C2 gelten analog zum Einschub C1 folgende Grundlagen:

- Leereinschub — 1 Stück, Einbaubreite 120 mm
- Frontplattenauslegung — gemäß Bild 26
- Bauelemente — gemäß Stückliste C
- Anordnung der Bauelemente im Einschub — gemäß Bild 27
- Reihenfolge des Aufbaus — Schrittfolge wie beim Einschub C1; eine Vorverdrahtung der Netztransformatoren 2 und 3 wie in Bild 25 ist nur hinsichtlich des Anschlusses der Zuführungsleitungen zu den Ausgangsbuchsen erforderlich.

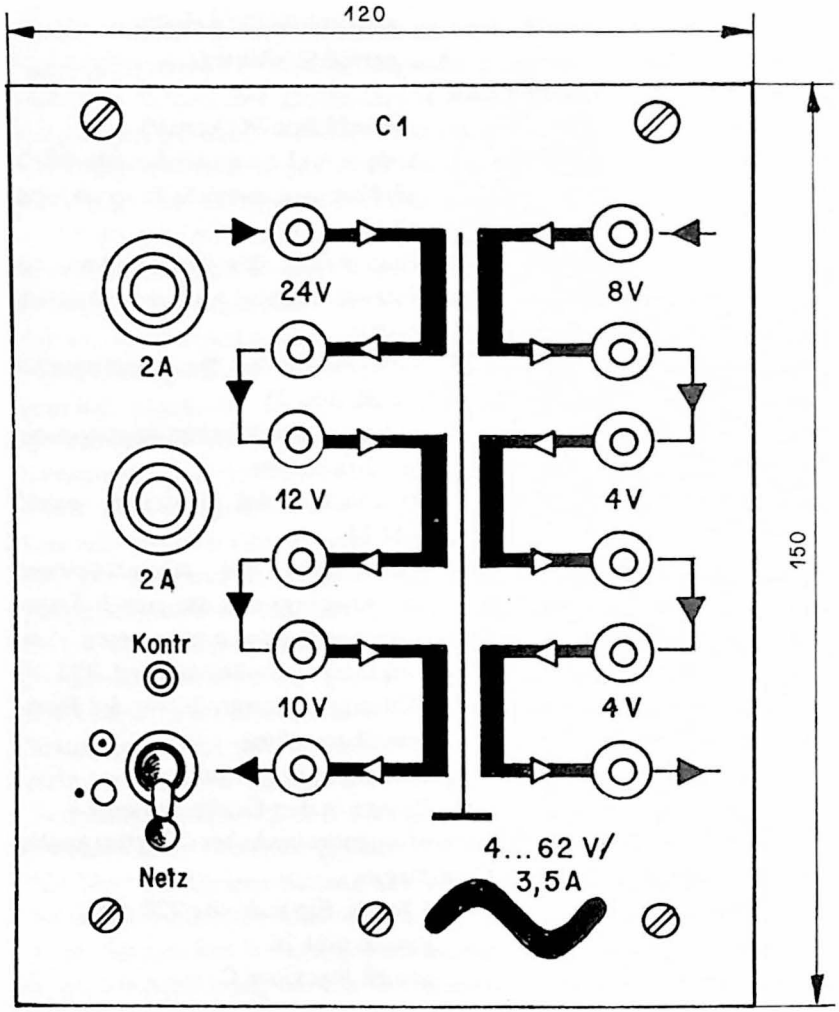
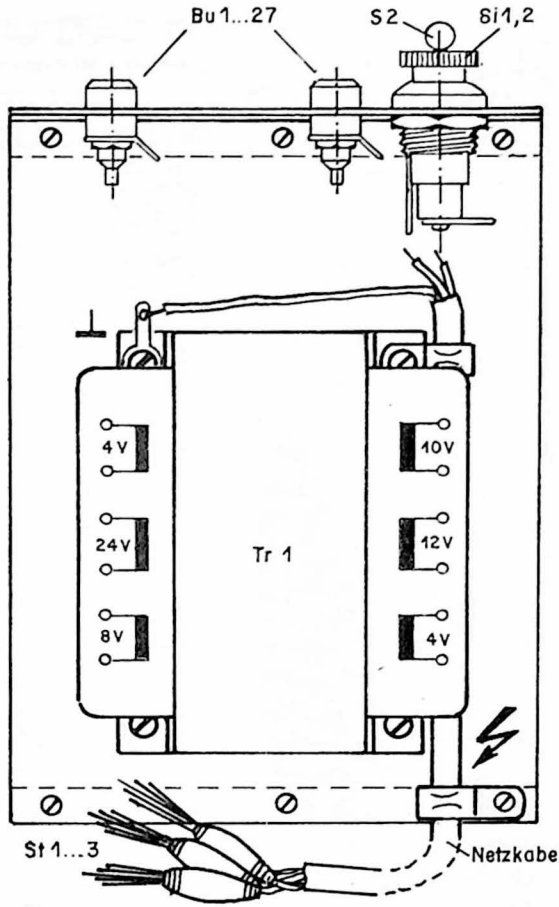


Bild 23. Frontplattenauslegung des Netztransformatoreinschubes C1.

3.15 Zur Verdrahtung der Einschübe C1 und C2 muß einadriges Kabel mit einem Adernquerschnitt von wenigstens 1,5 mm² verwendet werden. Am zweckmäßigsten ist es, ein entsprechend dimensioniertes Stück Netzkabel vom äußeren Isolierstoffmantel zu befreien und die dadurch

Bild 24. Montageanhalt für den Netztransformatoreinschub C1.



freiwerdenden Adern zu benutzen. Das Netzkabel ist, wie die *Bilder 24* und *27* zeigen, mit einer Schelle gegen Zug von außen entlastet und mit drei Büschelsteckern zum Anschalten an den Netzspannungsverteiler versehen. Der Nulleiter des Netzkabels ist mit einer Lötöse zu verlöten, die beim Aufsetzen der Netztransformatoren auf die Grundplatten der Einschübe auf eine der Befestigungsschrauben aufgeschoben wird.
Als Netzsicherungen sind Feinsicherungen mit einer Belastbarkeit von mindestens 2 A in die Sicherungshalter einzusetzen, weil Sicherungen geringerer Belastbarkeit den doch sehr kräftigen Einschaltstromstoß der Transformatoren nicht überstehen.

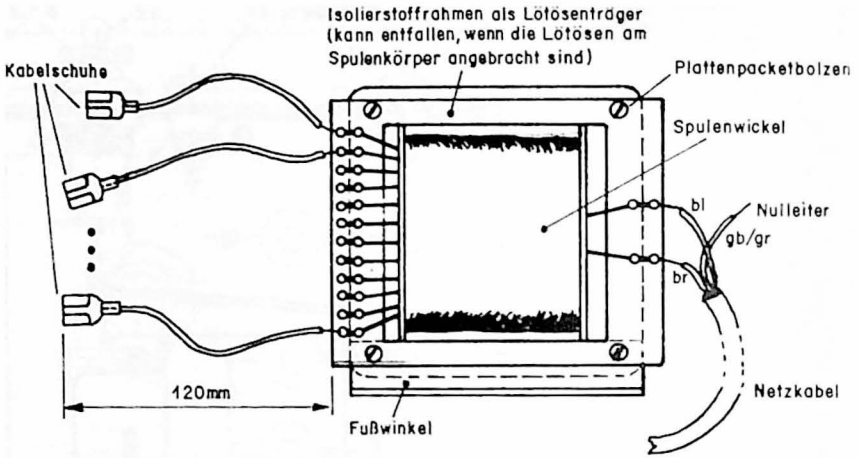


Bild 25. Montageanhalt für die Vorverdrahtung des Netztransformators 1 (Der Isolierstoffrahmen ist in Bild 24 nicht dargestellt, weil er nicht in jedem Falle erforderlich ist.

3.16 Im Rahmen der Funktionsüberprüfung ist vor dem Anschluß an das Wechselstromnetz auf jeden Fall eine Verdrahtungskontrolle an Hand des Schaltbildes vorzunehmen. Dies gilt besonders für die netzseitigen Teile der Verkabelung, weil hier bei Schaltfehlern sofort hohe Ströme fließen, die zur Zerstörung der Netztransformatoren oder zu Kurzschlüssen auf der Netzseite führen können.

Ist die Verkabelung in allen Punkten überprüft und in Ordnung befunden, kann der jeweilige Netztransformatoreinschub mit Netzspannung beschickt werden. Die Betriebsbereitschaft muß nach Einschalten des Netzschalters am Aufleuchten der Leuchtdiode erkennbar werden. Mittels eines Wechselspannungsmessers sind nun alle Sekundärspannungen an den Ausgangsbuchsen zu messen und auf Übereinstimmung mit dem Nominalwert zu vergleichen. Anschließend sind alle Spannungskombinationen gemäß Tabelle 5 abzugreifen. Dabei ist zugleich zu überprüfen, ob die Ein- und Ausgänge der Sekundärwicklungen im richtigen Wicklungssinn auf den Ausgangsbuchsen liegen, ggf. müssen Umpolungen vorgenommen werden.

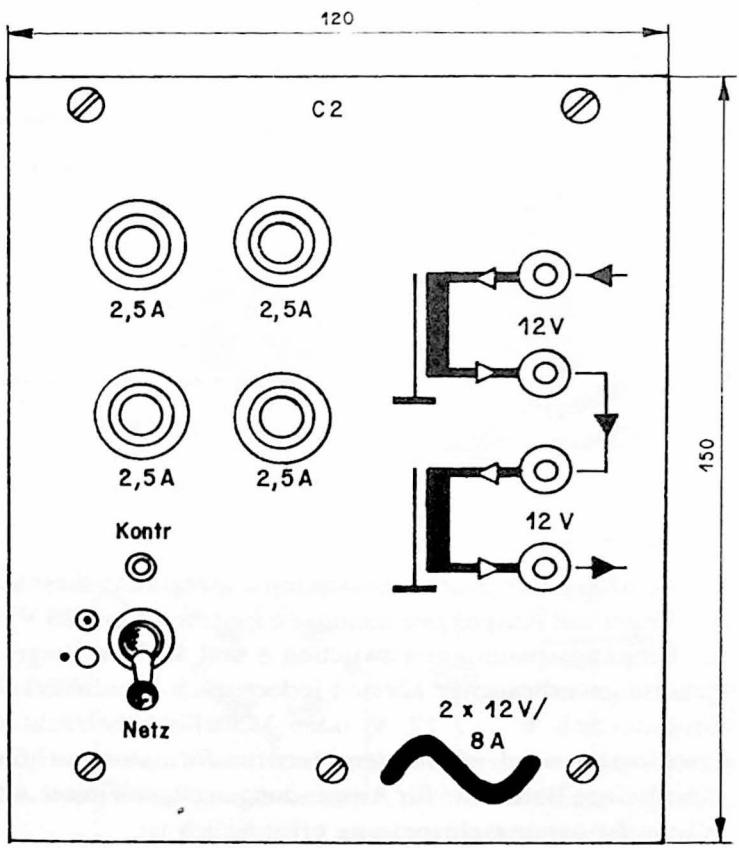
Sind beide Netztransformatoreinschübe auf diese Weise überprüft, werden sie an der gemäß *Bild 9* vorgesehenen Stelle in den Gehäuserahmen 1 eingesetzt, an den Netzspannungsverteiler angeschlossen und endgültig befestigt.

c. Anwendungsbeispiele für die Netztransformatoreinschübe

3.17 Die Hauptanwendung der Netztransformatoreinschübe C1 und C2 erstreckt sich naturgemäß auf das Bereitstellen von niedrigen Wechselspannungen unterschiedlicher Höhe für die Einspeisung in die Netzgleichrichterzüge. *Bild 28* zeigt daher unter Rückgriff auf die *Tabelle 5* einige Möglichkeiten des Spannungsabgriffs.

Darüberhinaus können die Sekundärspannungen der beiden Einschübe auch für die direkte Speisung von Wechselspannungsverbrauchern herangezogen werden. Dabei kann es sich beispielsweise um alle Verbraucher handeln, die mit einem Gleichspannungsnetzteil nach Art der Darstellung in *Bild 29* ausgestattet sind. Aufgrund der zunehmenden

Bild 26. Frontplattenauslegung des Netztransformatoreinschubes C2.



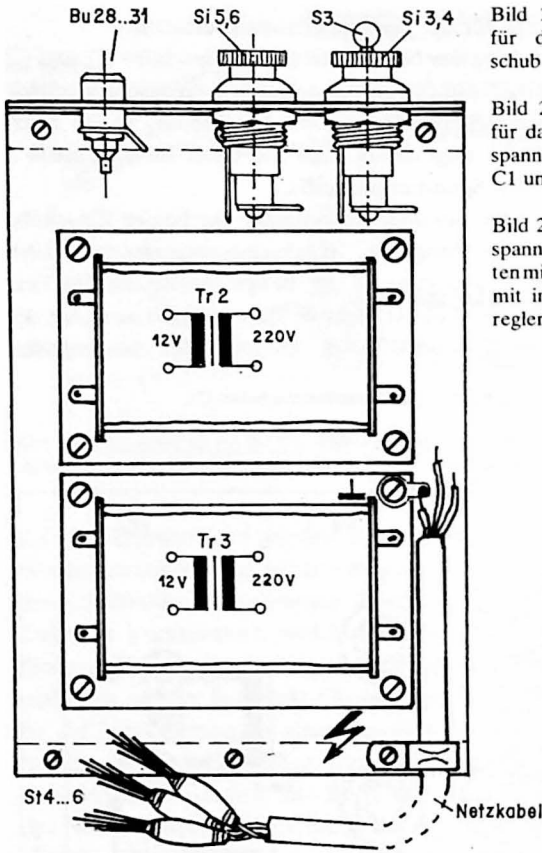
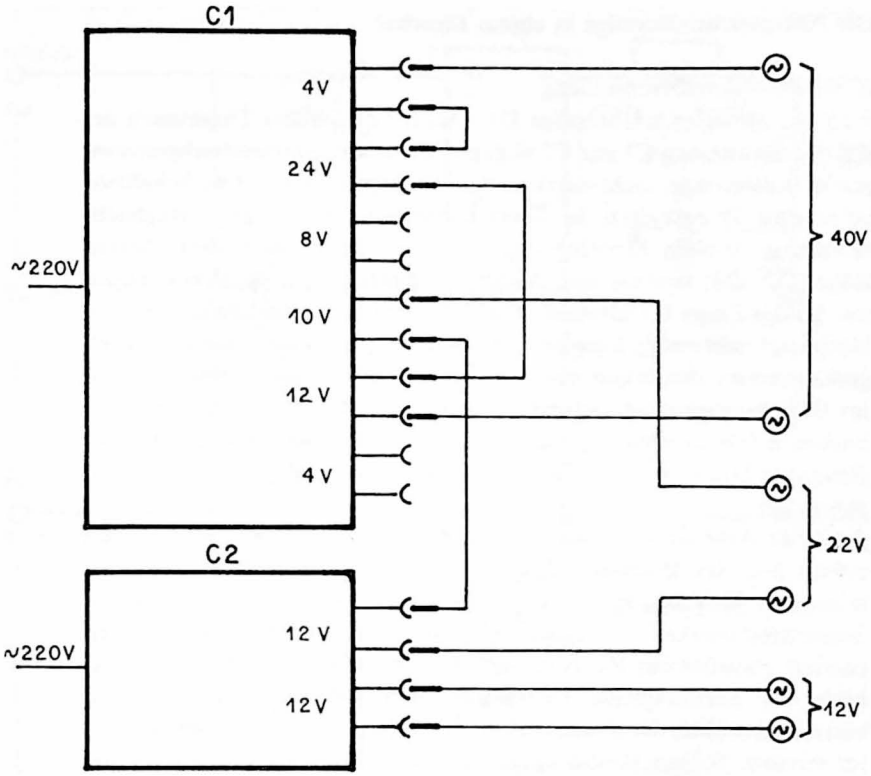


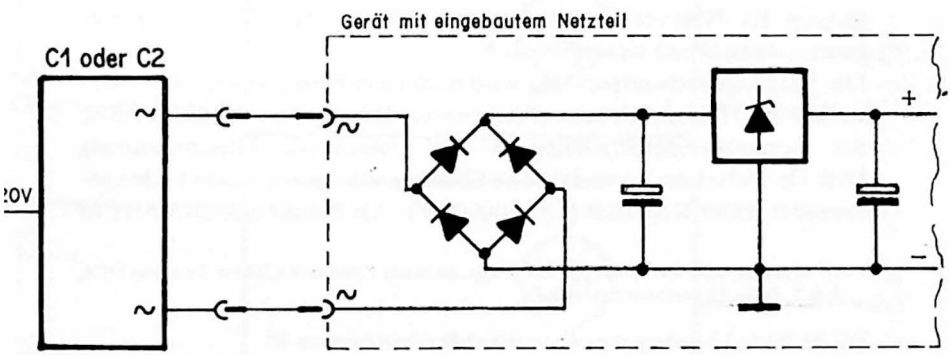
Bild 27. (links) Montageanhalt für den Netztransformatoreinschub C2.

Bild 28 (rechts oben) Beispiele für das Abgreifen von Wechselspannungen an den Einschüben C1 und C2.

Bild 29. (rechts unten) Wechselspannungseinspeisung bei Geräten mit eingebautem Netzteil (hier mit integriertem Festspannungsregler).

Verwendung integrierter Festspannungsregler in diesen Netzteilen (in der Regel mit Ausgangsspannungen zwischen 5 und 28 V) kommen hierfür Eingangsspannungen zwischen 8 und 40 V in Frage. Als Wechselspannungsverbraucher können jedoch auch Bleistiftlötkolben im Spannungsbereich 6 ... 12 V oder Modellbahnbeleuchtungen etc. angeschlossen werden. Bei den Netztransformatoreinschüben handelt es sich also um Bausteine für Anwendungen allgemeinster Art, sofern dabei Wechselspannungseinspeisung erforderlich ist.


C1
4V
24V
8V
10V
12V
4V
~220V
40V
22V
C2
12V
12V
~220V
12V


Gerät mit eingebautem Netzteil
C1 oder C2
~
~
+
–

Die Netzgleichrichterzüge in einem Einschub

a. Schaltbildkurzbeschreibung

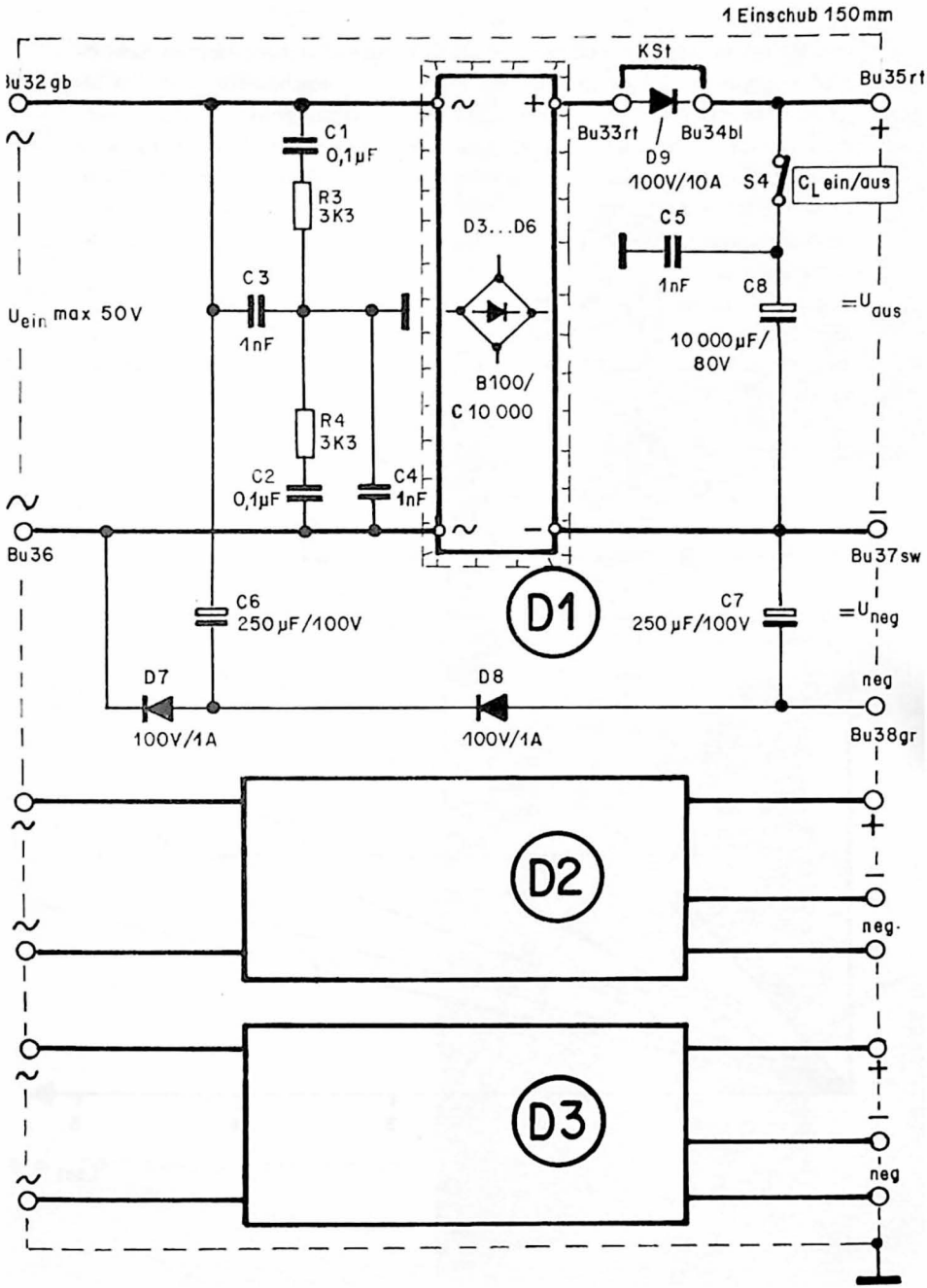
3.18 Die Netzgleichrichterzüge D1, D2, D3 dienen der Umsetzung der aus den Bausteinen C1 und C2 abgegriffenen Sekundärwechselspannungen in pulsierende, nicht stabilisierte Gleichspannungen. Das Schaltbild ist in *Bild 30* enthalten. In dieser Darstellung ist nur ein Netzgleichrichterzug in allen Einzelheiten ausgeführt (D1); die beiden übrigen Züge (D2, D3) sind nur angedeutet, hinsichtlich ihrer Schaltung jedoch mit der des Zuges D1 identisch. Die Stückliste D berücksichtigt dies. Die Netzgleichrichterzüge können völlig unabhängig voneinander in Betrieb genommen werden. Somit ist es möglich, drei Spannungsversorgungszüge im Gleichzeitigkeitsbetrieb zu aktivieren. Da die elektronischen Einbauten je Gleichrichterzug nicht sehr aufwendig sind, ist es möglich die Bausteine D1, 2 und 3 in einem Einschub (Einbaubreite 150 mm) unterzubringen.

3.19 Zur Arbeitsweise: Die Zuführung der Eingangswechselspannung erfolgt über die Buchsen 32 und 36. Sie darf je Netzgleichrichterzug höchstens 50 V betragen. Höhere Wechselspannungen gefährden die Spannungsfestigkeit des Ladekondensators C8. Die Wechselspannung passiert zunächst ein RC-Netzwerk (R3, R4, C1, C2, C3, C4); dieses bildet für hochfrequente Einstreuungen aus dem Wechselstromnetz einen Kurzschluß, durch den diese Störspannungen nach Masse abgeleitet werden. Sollten Reststörungen dennoch den Brückengleichrichter passieren, werden sie durch die Kapazität C5 nochmals soweit bedämpft, daß sie verbraucherseitig vernachlässigbar gering sind. Durch das eingängige RC-Netzwerk wird somit die TTL-Festigkeit des Labornetzgerätes weitgehend sichergestellt.[6]

Die Eingangswechselspannung wird nach dem Passieren des RC-Netzwerkes mit Hilfe des Brückengleichrichters D3 ... D6 nach dem Prinzip der Doppelweggleichrichtung in eine pulsierende Gleichspannung (100 Hz-Pulse) umgewandelt. Die Glättung erfolgt mit einem Ladekondensator hoher Kapazität (C8, 10000 µF). Als Brückengleichrichter ist

[6] Hierzu wurde eine Schaltung zugrundegelegt, die in der Zeitschrift Elektor, Jahrgang 1974, Heft 7, Seite 58 veröffentlicht wurde

Bild 30. (rechts) Schaltung der Gleichrichterstufe (Zusatzbaustein D).


1 Einschub 150 mm
KSt
Bu32 gb
Bu35 rt
Bu33 rt / Bu34 bl
D9
100V/10A
S4
C_L ein/aus
C1
0,1µF
R3
3K3
D3...D6
C5
1nF
C8
10 000µF/
80V
=U_aus
C3
1nF
U_ein max 50V
B100/
C 10 000
R4
3K3
C2
0,1µF
C4
1nF
Bu36
Bu37 sw
C6
250µF/100V
D1
C7
250µF/100V
=U_neg
D7
D8
neg
100V/1A
100V/1A
Bu38 gr
D2
neg
D3
neg

ein Hochleistungstyp einzusetzen. Brückengleichrichter der im Schaltbild angegebenen Dimensionierung werden im Fachhandel zumeist als „Ladegleichrichter" angeboten. Dies sind in Metallgehäuse eingegossene Hochleistungsdioden, die für Lastströme bis zu 25 A ausgelegt sein können. Sind die Gleichrichter nicht als Kompaktbauteile erhältlich, wird derselbe Zweck auch durch 4 entsprechend zu schaltende Hochleistungsdioden (mit Gewindezapfen für Kühlkörpermontage) je Gleichrichterzug erreicht.

Einige etwas weitergreifende Ausführungen müssen auch zur Dimensionierung des Ladekondensators C8 gemacht werden. Für die Restwelligkeit U_{w1} – wenn wir hierzu noch einmal auf *Bild 1* zurückgreifen – an C8 gilt die Beziehung

$$U_{w1} = \frac{1{,}2 \cdot I_{Last}}{6{,}28 \cdot 100 \cdot C8} \qquad \begin{matrix} I_{Last} \text{ in A} \\ C8 \text{ in F} \end{matrix}$$

Aus dieser Beziehung geht rechnerisch hervor, daß die Restwelligkeits-

Bild 31. U_{w1} bleibt nahezu konstant, wenn C8 je 1 A Laststromzunahme um 2000 µF vergrößert wird.

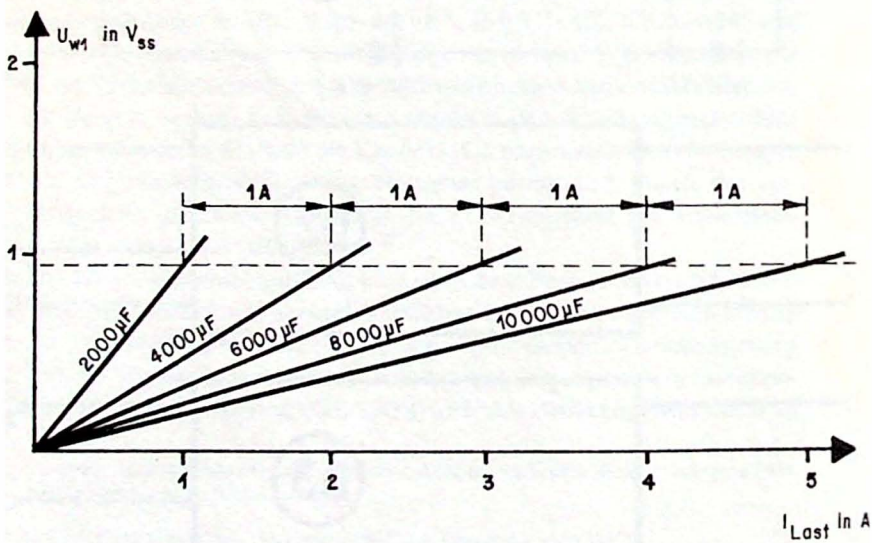
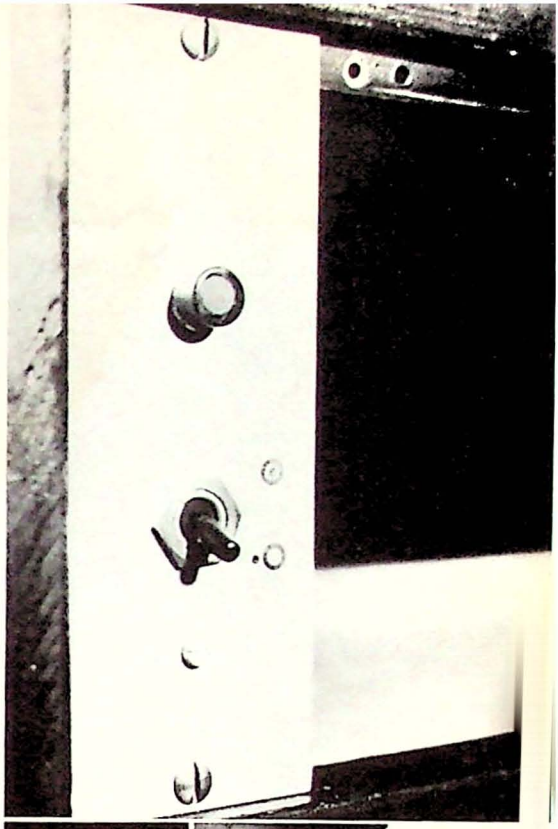


Bild 1. Vorderansicht des Netzspannungshauptschalters



Tafel 1

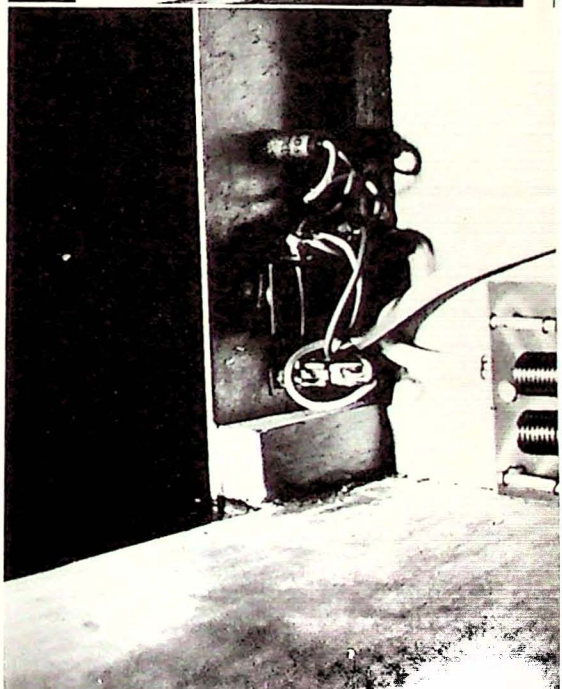


Bild 2. Rückansicht des Netzschalters nach Bild 1

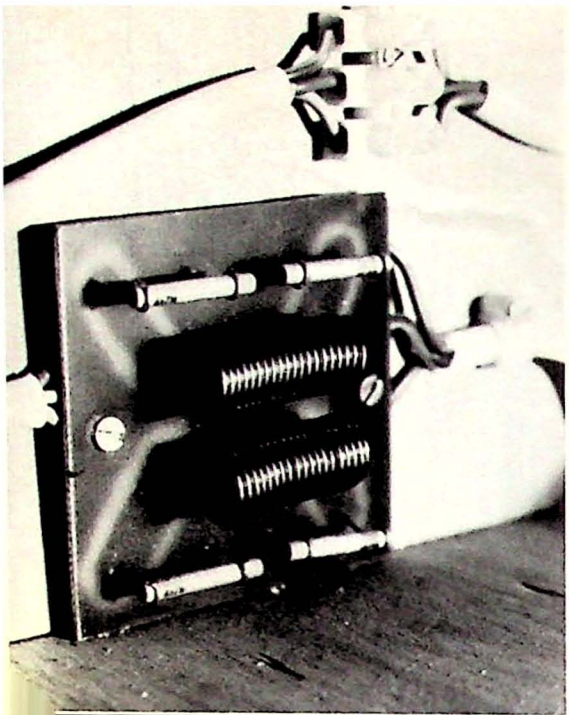
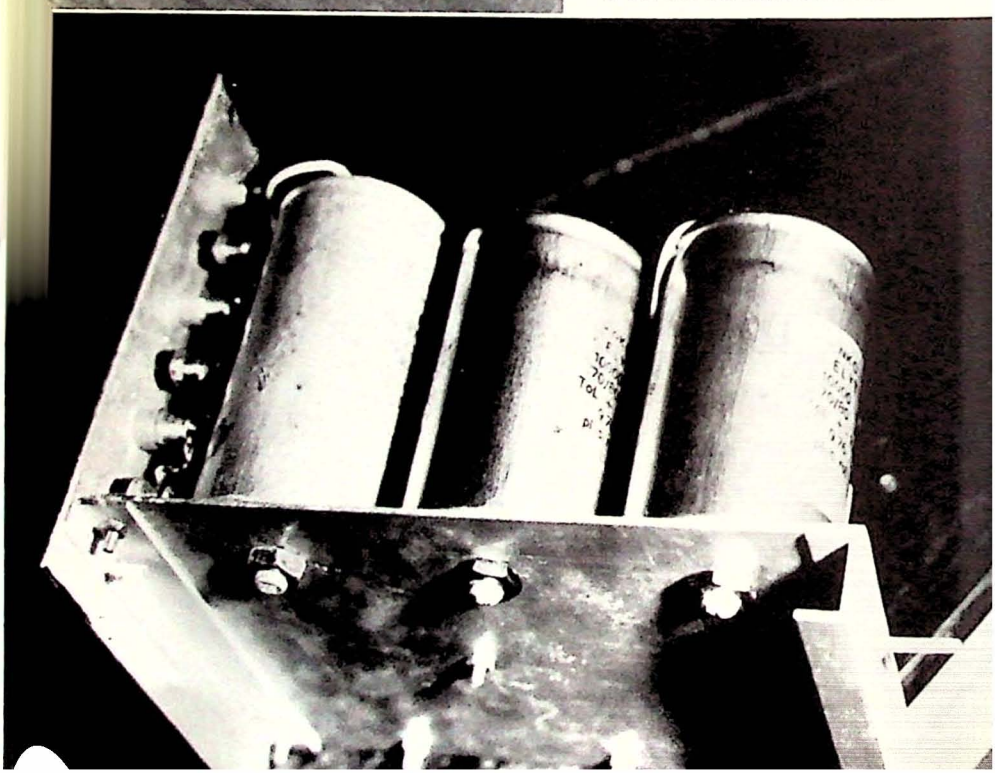


Bild 3. Diskret aufgebautes und montiertes Netzentstörfilter.

Tafel 2

Bild 4. Der Gleichrichtereinschub D mit den Ladekondensatoren.



spannung U_{w1} bei zunehmendem Laststrom (I_{Last}) steigt, wenn die Kapazität des Ladekondensators C8 ansonsten gleichbleibt. Oder anders betrachtet: Soll die Restwelligkeitsspannung bei steigendem Laststrom einen bestimmten Wert nicht überschreiten (z.B. 1 V), so muß die Kapazität von C8 entsprechend erhöht werden. Dieser Zusammenhang ist in *Bild 31* in Form einer Kurvenschar dargestellt.

In dieser Darstellung wird die Forderung zugrundegelegt, daß U_{w1} den Wert von 1 V nicht überschreitet. Betrachtet man unter dieser Voraussetzung den Spannungsverlauf an C8 in Abhängigkeit vom Laststrom, ergibt sich, daß für eine Laststromzunahme von 1 A jeweils eine Kapazitätserhöhung um 2000 µF erforderlich ist. Bei einer Auslegung mit 10000 µF für C8 kann jedem der drei Netzgleichrichterzüge somit ein maximaler Laststrom von 5 A entnommen werden, ohne daß die Restwelligkeitsspannung den Wert von 0,95 V übersteigt. Wer bei einer ersten flüchtigen Betrachtung des Schaltbildes daher über den hohen Kapazitätswert von C8 „gestolpert" ist, erfährt hiermit die Begründung für diesen Wert. Andererseits verfügt er mit *Bild 31* über einen Dimensionierungsanhalt, wenn er „sein" Labornetzgerät nicht für so hohe oder für noch höhere Lastströme auslegen will. Wem die für das Universal-Spannungslabor geltende Grundrestwelligkeit von 1 V noch zu hoch erscheint, kann eine Verringerung – dies ergibt sich ebenfalls aus *Bild 31* – nur durch eine über 10000 µF hinausgehende Dimensionierung von C8 erreichen. Solche Ladekapazitäten können dann erforderlich werden, wenn z.B. im Falle der Variablen Last oder nachgeschalteter Konstantspannungsregler mit einer zusätzlichen Hochlastkaskade gearbeitet wird. Die zusätzlich erforderlichen Ladekapazitäten können dann über die Buchsen Bu35/Bu37 parallelgeschaltet werden; denn im Einschub lassen sich Elektrolytkondensatoren mit Werten über 10000 µF und einer Spannungsfestigkeit von 80 V wegen der damit verbundenen Zunahme der äußeren Abmessungen nicht mehr unterbringen. Bevor an die Grundrestwelligkeit der Netzgleichrichterzüge noch höhere Anforderungen gestellt werden, sollte zusätzlich bedacht werden, daß sich die überwiegende Zahl der Anwendungsfälle des Universal-Spannungslabors auf den Laststrombereich zwischen 1 mA und 1,5 A beschränkt. Ein Blick auf die Kurvenschar in *Bild 31* zeigt, daß in diesem Laststrombereich bereits mit einer Ladekapazität von 6000 µF, Restwelligkeitsspannungen von nur noch 0,5 V zu erwarten sind. Bei Nachschaltung von

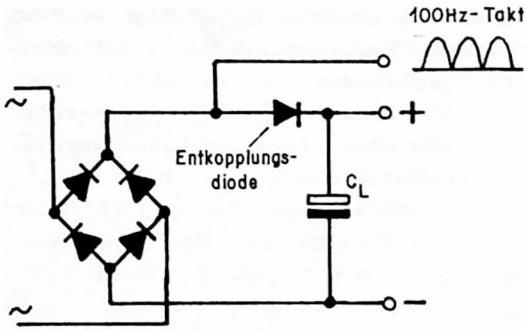


Bild 32. Auskopplung eines 100 Hz-Taktes.

Konstantspannungsreglern, die mit dem integrierten Spannungsregler LM/µA 723 bestückt sind, kann diese Spannung zudem bis zu 85 dB bedämpft werden, d.h. der sogenannte „Restbrumm" liegt dann bei Werten um 0,5 mV. Am Ausgang solcher Konstantspannungsregler kann somit praktisch eine „reine" Gleichspannung abgegriffen werden. Und mehr kann man von einem Labornetzgerät, das nicht industriellen, sondern Hobbyzwecken vorbehalten ist, eigentlich nicht erwarten.

3.20 Es gibt Anwendungsfälle für die Netzgleichrichtereinschübe, bei denen eine Ladekapazität nicht erforderlich ist (z.B. bei direkter Nachschaltung von Batterieladeautomatiken, die meistens ohne Ladekapazität auskommen oder bei sogenannten „geschalteten" Netzteilen; in solchen Fällen kann in jedem der drei Bausteine D1 ... 3 der Ladekondensator mittels des Schalters S4 weggeschaltet werden).

Es gibt außerdem eine ganze Reihe von Schaltungen, deren Funktion von der Einspeisung einer annähernd konstanten Taktfrequenz abhängt. Für solche

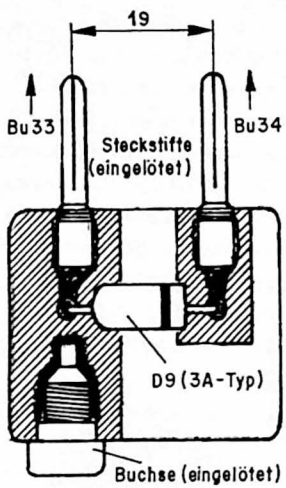


Bild 33. Doppeltkaschierte Platine als Adapter für die Auskoppelung eines 100-Hz-Taktes.

Zwecke kann ein sogenannter „100 Hz-Takt" durch Einfügen der Entkoppelungsdiode D9 aus jedem der Netzgleichrichterzüge gewonnen werden. Der Auskoppelung liegt das Prinzip gemäß *Bild 32* zugrunde. Praktisch erfolgt die Auskoppelung des Taktes mit Hilfe des in *Bild 33* gezeigten selbst hergestellten Adapters, der an Stelle des Kurzschlußsteckers KSt in das Buchsenpaar Bu33/34 eingefügt wird. Diese Buchsen haben einen Abstand von 19 mm; er entspricht dem Stiftabstand des Adapters. Für D9 ist eine Hochleistungsdiode erforderlich, wenn Lastströme $\geqq 2$ A im Verbraucherstromkreis zu erwarten sind.
Über die Kombination D7, D8, C6, C7 schließlich wird aus der Eingangswechselspannung neben der „Arbeitsgleichspannung" zugleich eine negative Hilfsspannung gewonnen. Sie steht in Höhe der Arbeitsgleichspannung an Bu38. Die Gewinnung der negativen Hilfsgleichspannung

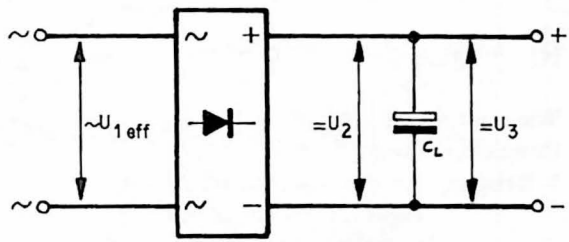


Bild 34. Spannungsverhältnisse an einem Brückengleichrichter bei kapazitiver Last.

aus derselben Eingangswechselspannung kann nur solange angewendet werden, wie der Laststrom im Verbraucherstromkreis größer ist als im Hilfspannungsstromkreis.[7] Da aber kaum Anwendungsfälle vorkommen, in denen dies nicht der Fall ist (negative Hilfsspannungen werden in der Regel dort benötigt, wo Steuerspannungen bis auf Null herab regelbar sein sollen), wurde diese Form der Hilfsspannungsgewinnung in die Netzgleichrichterzüge einbezogen. In Ausnahmefällen bleibt der Weg über eine separate Sekundärwicklung nicht erspart.
3.21 Zum Schluß der Schaltbildbeschreibung einige Überlegungen zur Abschätzung der Spannungsverhältnisse an verschiedenen Punkten eines Netzgleichrichterzuges. Wir wollen dazu etwas rechnen, weil dies erfor-

[7] Die Schaltung stammt von. F.H. Burmester, veröffentlicht in der Fachzeitschrift Elektor, Jahrgang 1974, Heft 4, Seite 53.

derlich ist, damit die Spannungsverhältnisse bei der späteren Zusammenschaltung von Spannungsversorgungszügen stimmen. *Bild 34* dient der Veranschaulichung der prinzipiellen Zusammenhänge.
Zwischen der Eingangswechselspannung $\sim U_{1eff}$ und der Ausgangsgleichspannung $U_2 =$ (C_L wird dabei als nicht vorhanden angenommen) besteht folgende angenäherte rechnerische Beziehung:

(a) $U_{2\,=} = \sim U_{1eff} - 1{,}4$ (V)

Wird C_L nun zugeschaltet, stellt er eine kapazitive Last dar. Daher gilt für die Spannung $U_{3\,=}$:

(b) $U_{3\,=} = (U_{2\,=} \cdot \sqrt{2}\,) = (\sim U_{1eff} - 1{,}4)\,\sqrt{2}$ (V)

Aus dieser Beziehung läßt sich umgekehrt für die Eingangswechselspannung $\sim U_{1eff}$ rückfolgern:

(c) $$\sim U_{1eff} = \frac{U_{3\,=}}{\sqrt{2}} + 1{,}4 \quad (V_{eff})$$

Wie sieht nun die Anwendung dieser Formeln in der Praxis aus? Zwei Beispiele seien gegeben:

1. Beispiel: An den Ausgangsbuchsen Bu35/37 des Netzgleichrichterzuges D1 soll eine Gleichspannung ($U_{3\,=}$) von 40 V abgegriffen werden können. Wie groß muß die Eingangswechselspannung ($\sim U_{1eff}$) sein?
Durch Anwendung der Gleichung (c) ergibt sich für $\sim U_{1eff}$:

$$\sim U_{1eff} = \frac{40}{\sqrt{2}} + 1{,}4\ (V) = 29{,}68\ V, \text{ d.h. rd. } 30$$

Diese Spannung kann durch Serienschaltung einer 8V-, 10V- und 12V-Sekundärwicklung des Netztransformatoreinschubes C1 bereitgestellt werden.

2. Beispiel: Die Eingangswechselspannung ($\sim U_{1eff}$) beträgt 24 V. Welche Ausgangsgleichspannung ($U_{3\,=}$) stellt sich an den Buchsen Bu35/37 ein?
Durch Anwendung der Gleichung (b) ergibt sich für $U_{3\,=}$):

$$U_{3\,=} = (24 - 1{,}4)\,\sqrt{2}\ (V) = 31{,}95\ V, \text{ d.h. rd. } 32\ V$$

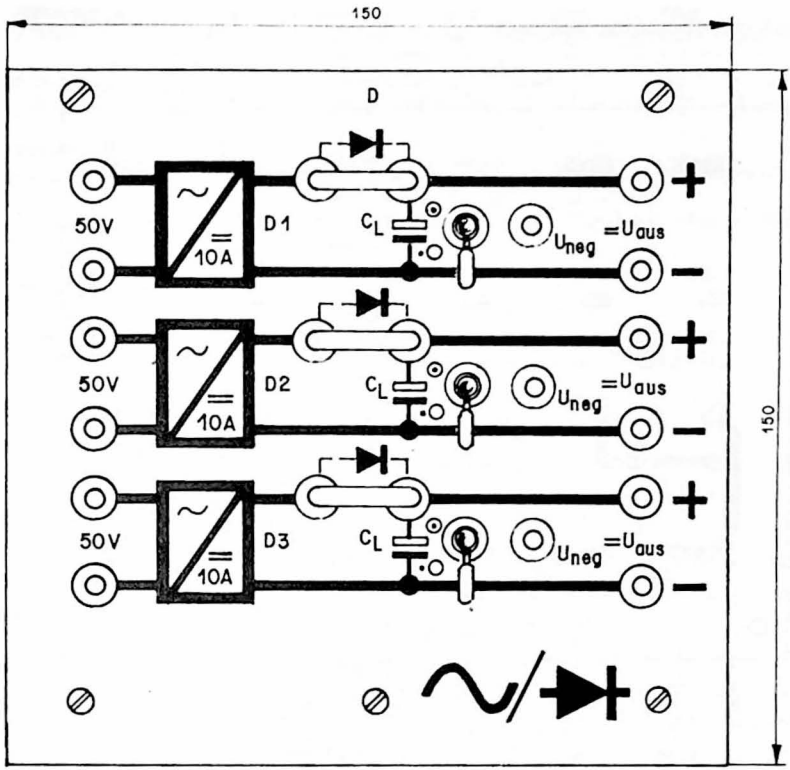


Bild 35. Frontplattenauslegung des Netzgleichrichtereinschubes D.

Mit Hilfe der beiden Formeln (b) und (c) können somit die für den jeweiligen Anwendungsfall erforderlichen Ein- bzw. Ausgangsspannungen mit hinlänglicher Genauigkeit vorherbestimmt werden.
Dabei gilt als Grundsatz, daß als Eingangsspannung für die Bausteine E1 ... 5, G, und H ausnahmslos die am Ladekondensator C8 und damit an den Ausgangsbuchsen Bu35/37 (ggf. Bu38) stehende Gleichspannung in Frage kommt.
Die auf den Frontplatten der entsprechenden Einschübe (vgl. z.B. *Bild 72)* enthaltenen Eingangsangaben haben daher folgende Bedeutung:

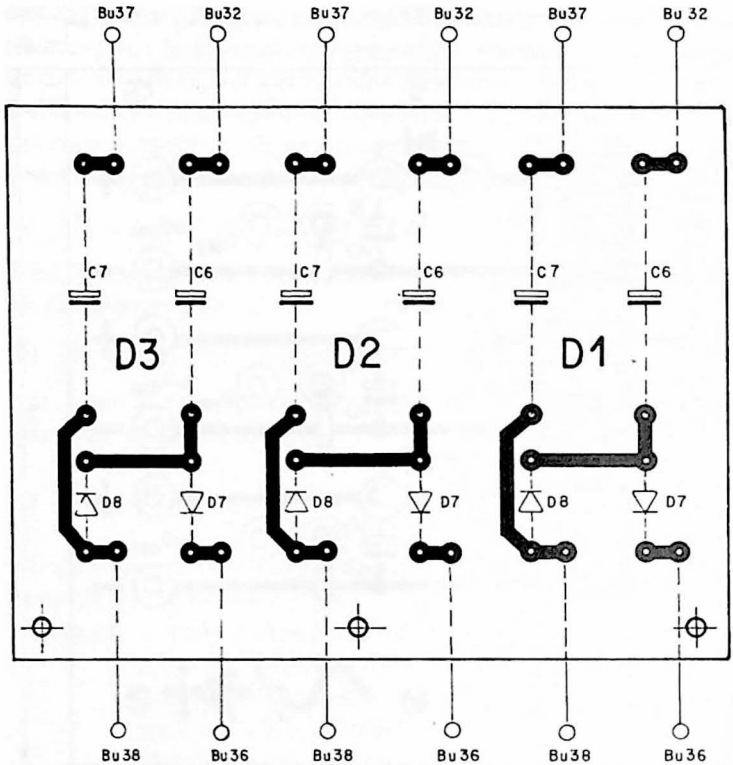


Bild 36. Platinenauslegung für die negative Hilfsspannungserzeugung, Ansicht von der Lötseite, Bestückung angedeutet (Maßstab 1:1).

Stückliste D* Netzgleichrichterzüge,
Zusatzbausteine D1, D2, D3

Widerstände

6 Stück	R3, 4	3K3

Kondensatoren

6 Stück	C1, 2	0,1 µF/100 V MKH
9 Stück	C3, 4, 5	1 nF/100 V, Keramik
6 Stück	C6, 7	250 µF/100 V Elyt
3 Stück	C8	10 000 µF/80 V mit Axialbolzen für Senkrechtmontage, Plus- und Minuspol galvanisch vom Gehäuse getrennt

Halbleiter

3 Stück	D3...6	Ladegleichrichter in Brückenschaltung B100/C10 000 oder größer
6 Stück	D7, 8	Universaldiode 100 V/1 A
3 Stück	D9	Leistungsdiode 100 V/10 A

Spezialteile

1 Stück		Hochleistungskühlkörper für D3...6 (alle Gleichrichter auf einem Kühlkörper) 1,5...2,5 K/W
3 Stück	S4	Miniaturkippschalter 220 V/2,5 A mit isoliertem Kipphebel

Mechanische Teile

1 Stück		Leiterplatte gemäß Bild 36
1 Stück		Lötösenstreifen mit Montagewinkeln gemäß Bild 37
21 Stück	Bu32...38	Buchse, vollisoliert, Innen Ø 4 mm, davon 6 gelb, 6 rot, 3 blau, 3 schwarz, 3 grün
3 Stück	KSt	Kurzschlußstecker, Stiftabstand 19 mm, Stift Ø 4 mm

* Stückzahlen gelten für alle drei Netzgleichrichterzüge

1. Beispiel: Einschub E1 Aufschrift ~9...28 V/=12...40 V
Die Eingangsgleichspannung darf zwischen 12 und 40 V betragen. Diese können aus einer Sekundärwechselspannung zwischen 9 und 28 V gewonnen werden.

2. Beispiel: Einschub E2 Aufschrift ~12 V/= 15 V
Die Eingangsgleichspannung soll 15 V betragen. Sie kann aus einer Sekundärwechselspannung von 12 V hinlänglich genau gewonnen werden.

3. Beispiel: Einschub E3 Aufschrift = 10...35 V stab
Einschub E4 Aufschrift = 10...80 V stab
Es sollen nur stabilisierte Gleichspannungen zwischen 10 und 35 bzw. zwischen 10 und 80 V eingespeist werden.

b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung

3.22 Für den Aufbau der drei Netzgleichrichterstufen in einem Einschub gelten folgende Grundlagen:

- Leereinschub — 1 Stück, Einbaubreite 150 mm
- Frontplattenauslegung — gemäß Bild 35 (Anhalt)
- Bauelemente — gemäß Stückliste D
- Gedruckte Leiterplatte — gemäß Bild 36
- Bestückungsplan und Anschlußschema — gemäß Bild 36

- Montageanhalt für das RC-Netzwerk — gemäß Bild 37
- Anordnung der Elemente im Einschub — gemäß Bild 38
- Reihenfolge des Aufbaus

1. Aufbau des Leereinschubes einschließlich Frontplattenbeschriftung und -bestückung
2. Verdrahtung des RC-Netzwerkes (Bild 37) einschließlich Einbau in den Einschub und Verdrahtung mit den Eingangsbuchsen
3. Herstellen und Bestücken der Leiterplatte für die Hilfsspannungsgewinnung (Bild 36)
4. Montage der Gleichrichter auf einem Hochleistungskühlkörper, Einbau des Kühlkörpers in den Einschub (Bild 38)
5. Montage der Ladekondensatoren im Einschub (Bild 38)
6. Verdrahtung der Brückengleichrichter und der Ladekondensatoren im Einschub
7. Externe Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Leiterplatte für die negative Hilfsspannungsgewinnung unter Ausnutzung der bereits fertig montierten Teile der Netzgleichrichterzüge
8. Einbau und Verdrahtung der Leiterplatte (Bild 38)
9. Verdrahtungskontrolle vor der Funktionsüberprüfung
10. Funktionsüberprüfung
11. Einbau des fertigen Einschubes in den Gehäuserahmen 1

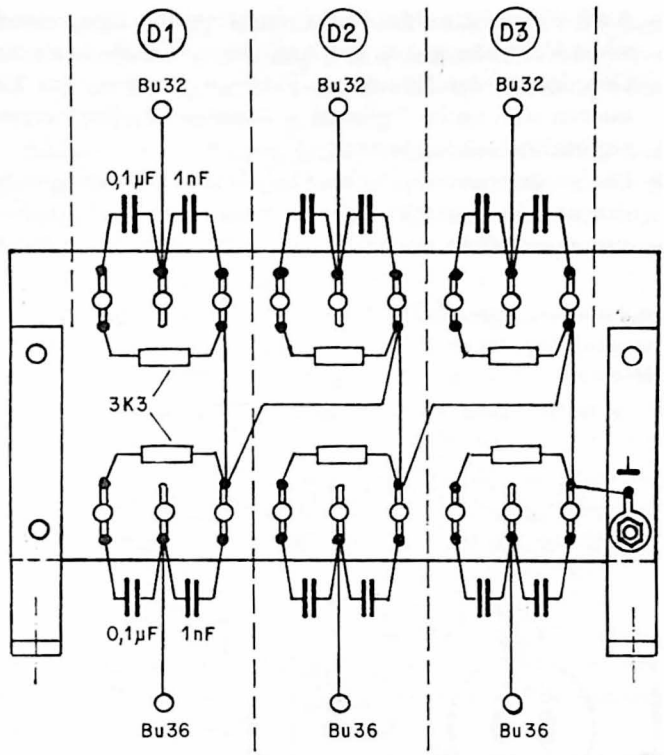


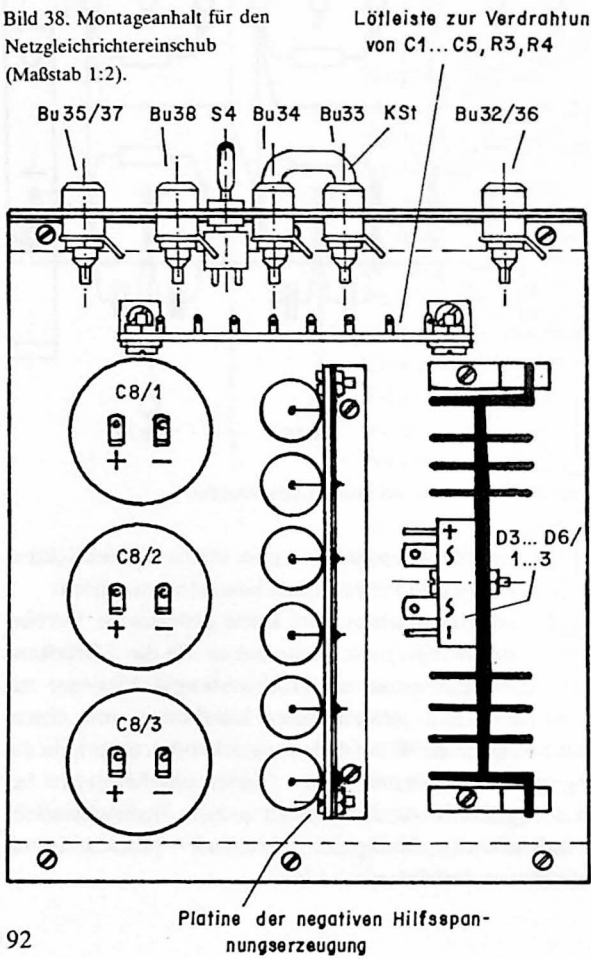
Bild 37. Verdrahtung der RC-Netzwerke auf einem Lötösenstreifen.

3.23 Bei der Montage der einzelnen Bauelemente der Netzgleichrichterzüge im Einschub ist auf folgende Einzelheiten besonders zu achten:

– Das Gehäuse der Ladegleichrichter darf keine galvanische Verbindung zu einem der Gleichrichteranschlüsse haben, da die 3 Brückengleichrichter auf einem gemeinsamen Hochleistungskühlkörper zusammengefaßt werden. Ein gemeinsamer Kühlkörper mit einem Wärmewiderstand von 1,5 K/W wird für ausreichend erachtet, da die in den Brückengleichrichtern enthaltenen Dioden überhaupt erst bei Lastströmen ab 3 A gekühlt werden müssen und die Wahrscheinlichkeit gering ist, daß alle drei Netzgleichrichterstufen gleichzeitig mit maximalen Lastströmen betrieben werden.

– Auch die Gehäuse der Ladekondensatoren sollen keinerlei galvanischen Verbindungen zu den Anschlüssen haben, da sie direkt auf die Grundplatte des Einschubes aufgesetzt werden. Als Ladekondensatoren sind solche Typen zu bevorzugen, die über einen Gewindezapfen für Senkrechtmontage verfügen.
– Die Verdrahtung des Einschubes ist insgesamt unkritisch. Soweit möglich sind die einzelnen Adern so zu führen, daß sie zu Kabelbäumen zusammengefaßt werden können. Es empfiehlt sich bei diesem Ein-

Bild 38. Montageanhalt für den Netzgleichrichtereinschub (Maßstab 1:2).



schub daher nicht, für die Zuleitungen zu den Ein- bzw. Ausgangsbuchsen freitragenden versilberten Schaltdraht zu verwenden, sondern auch hier auf die Einzeladern eines von seinem Isoliermantel befreiten Netzkabelendes zurückzugreifen.

- Bei der diskreten Verdrahtung des RC-Netzwerkes mit Hilfe einer Lötleiste (vgl. *Bild 37)* fehlt in jedem Netzwerk der Kondensator C5. Er wird jeweils in unmittelbarer Nähe des Schalters S4 mit einem Anschluß an das Chassis des Einschubes, mit dem anderen Anschluß an den Ruhekontakt von S4 gelegt.
- Nach der endgültigen Verdrahtung der Netzgleichrichter, der Ladekondensatoren und des RC-Netzwerkes ist der Teil der Netzgleichrichterstufen, die die Arbeitsgleichspannung liefern, bereits voll funktionsfähig – vorausgesetzt, es liegen keine Schaltfehler vor. Bevor daher die Leiterplatte für die negative Hilfsspannungsgewinnung zur Überprüfung ihrer Funktionsfähigkeit an die einzelnen Gleichrichterstufen angeschlossen werden kann, ist eine genaue Verdrahtungskontrolle an Hand des Schaltbildes vorzunehmen. Erst dann, wenn man sich davon überzeugt hat, daß keinerlei Schaltfehler vorliegen, kann eine Eingangswechselspannung auf die Buchsen Bu32/36 gegeben und gemessen werden, ob die Arbeitsgleichspannung in der zu erwartenden Höhe an den Ausgangsbuchsen Bu35/37 steht. (Die Höhe der Ausgangsspannung ist in Abhängigkeit von der Eingangswechselspannung gemäß Nr. 3.20, Gleichung (b) abzuschätzen.)
- Die Leiterplatte zur Gewinnung der negativen Hilfsgleichspannungen wird mittels Schaltschnüren an den nach dem Schaltbild vorgesehenen Punkten mit den Netzgleichrichterstufen verbunden und auf Funktionsfähigkeit geprüft, indem bei angelegter Eingangswechselspannung gemessen wird, ob die negative Hilfsspannung in Höhe der Arbeitsgleichspannung an den Buchsen Bu37 (Plus) und Bu38 (Minus) steht. Ist dies bei allen drei Schaltungsteilen der Fall, wird sie ebenfalls in den Einschub eingebaut *(Bild 38)* und endgültig in die Verdrahtung einbezogen.

3.24 Zur Funktionsüberprüfung wird nacheinander in jeden Netzgleichrichterzug eine Sekundärwechselspannung aus einem der Netztransformatoreinschübe eingespeist und auf dem Wege der Spannungsmessung geprüft, ob sich die zugehörigen Arbeits- und negativen Hilfsgleichspannungen an den Ausgängen abgreifen lassen. Die Arbeits-

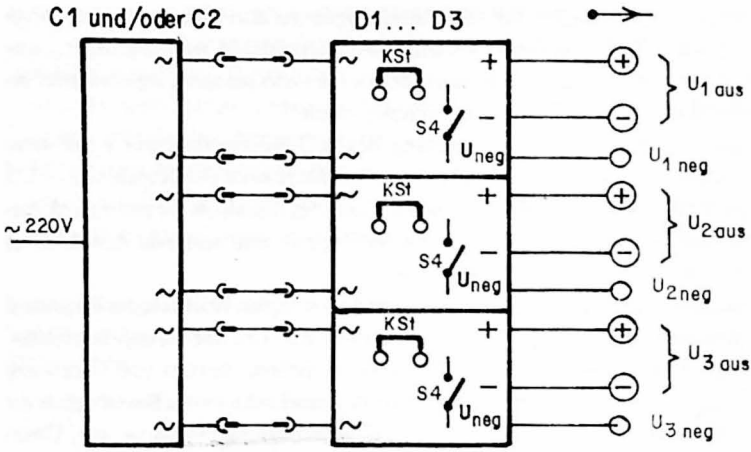


Bild 39. Gleichzeitige Bereitstellung bis zu drei pulsierender Ausgangsgleichspannungen.

gleichspannung muß nach Öffnen des Schalters S4 jeweils auf den Wert $\sim U_{1eff} - 1{,}4$ V zurückgehen. Sollte die Arbeitsgleichspannung trotz einwandfreier Verkabelung nicht an den Ausgangsbuchsen stehen, könnte dies seinen Grund im Fehlen der Schaltbrücke haben, die durch den Kurzschlußstecker KSt gebildet wird, solange D9 nicht zwischengeschaltet ist. Ob auch der 100 Hz-Takt abgegriffen werden kann, sollte ebenfalls geprüft werden. Ist der in *Bild 33* angegebene Adapter noch nicht fertiggestellt, kann man sich im Rahmen der Funktionsüberprüfung natürlich auch mit einer Universaldiode behelfen, die mittels Schaltschnüren dazwischengeschaltet wird. Der 100 Hz-Takt kann dann entweder mit einem Oszilloskop sichtbar oder unter Abschwächung durch einen Spannungsteiler (Potentiometer, 25 KOhm) in einem Verstärker hörbar gemacht werden.

Nachdem bereits die beiden Netztransformatoreinschübe in den Gehäuserahmen eingebaut worden sind, ist der Einbau des Netzgleichrichtereinschubes ein bereits eingeübtes Geschäft. Er findet seinen Platz unmittelbar neben dem Einschub C2 im Gehäuserahmen 1.

c. Anwendungsbeispiele für den Netzgleichrichtereinschub

3.25 Mit dem Netzgleichrichtereinschub steht nun also der erste Baustein

zur Verfügung, von dem Gleichspannungen für verschiedenste Zwecke abgegriffen werden können. Insgesamt lassen sich – wie bereits wiederholt erwähnt – drei Gleichspannungen gleichzeitig in Betrieb nehmen *(Bild 39)*.

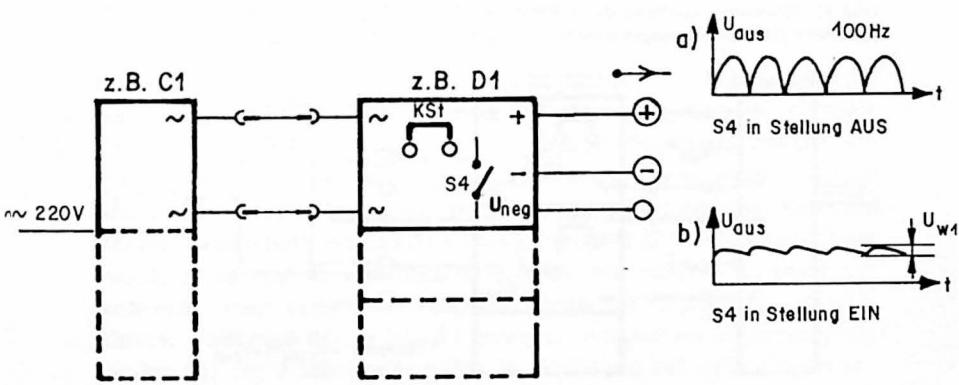
Dabei hat man die Wahl, welchen Spannungsverlauf diese Gleichspannungen aufweisen – je nachdem, in welche Schaltstellung S4 gebracht wird. Wird S4 geöffnet, ist der Ladekondensator C8 abgeschaltet: Am Gleichspannungsausgang tritt dann eine pulsierende Gleichspannung auf, deren Halbwellenfrequenz 100 Hz beträgt *(Bild 40,* Spannungsdiagramm a). Bei dieser Gleichspannung handelt es sich in Wirklichkeit um eine Mischspannung, deren Gleichspannungsanteil sich nach der Beziehung

$$U_{G1} = 0{,}9 \cdot {\sim}U_{1eff} \qquad \text{(vgl. zu } {\sim}U_{1eff}\text{, Bild 34)}$$

berechnen läßt (Näherungswert!). Wird S4 dagegen geschlossen, glättet C8 die Ausgangsgleichspannung; ihr Spannungsverlauf entspricht dann der Darstellung in *Bild 40* (Spannungsdiagramm b). Die Restwelligkeitsspannung U_{w1} steigt bei Lastströmen bis zu 5 A nicht über 1 V_{ss} an.

Pulsierende Gleichspannung, die nicht geglättet wird, kann für alle Zwecke verwendet werden, bei denen keine Siebung erforderlich ist oder durch entsprechende Komponenten im Verbraucher selbst erfolgt. So

Bild 40. Ausgangsspannungsverlauf je nach Stellung von S4
a) ungeglättet, Halbwellenfrequenz 100 Hz
b) geglättet, $U_{w1} \leqq 1$ V



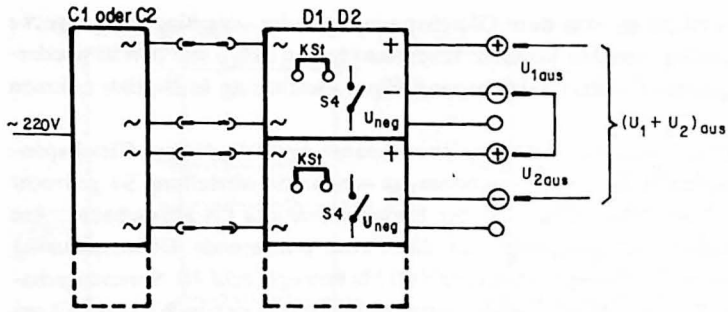
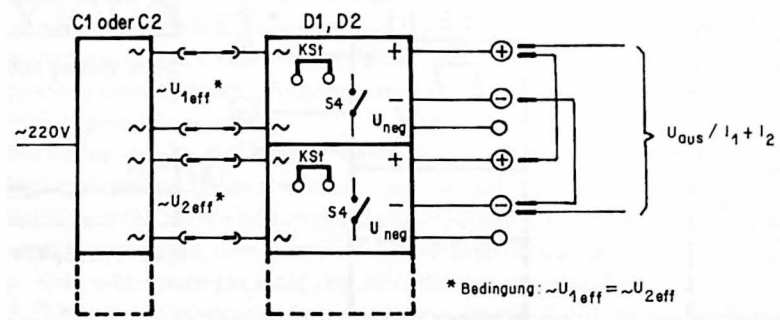


Bild 41. Spannungsvervielfachung durch Serienschaltung pulsierender Ausgangsgleichspannungen.

arbeiten beispielsweise Autobatterieladegeräte oder geschaltete Netzteile häufig mit ungeglätteten Eingangsgleichspannungen. Auch das Heizen eines mit Gleichspannung zu betreibenden Kleinlötkolbens oder der Anschluß einer Minidrill-Bohrmaschine bieten sich an. Gleichstrom-Kleinmotoren arbeiten jedoch mit einem wesentlich besseren Wirkungsgrad, wenn sie mit gesiebter Gleichspannung gespeist werden. Dies gilt ebenfalls für das Nachsetzen aller Spannungskonstantregler und sonstiger Bausteine des Universal-Spannungslabors.

Genauso wie es bei den Netztransformatoreinschüben möglich war, können die gleichzeitig im Betrieb befindlichen Ausgangsgleichspannungen in Serie geschaltet werden. Die einzelnen Teilspannungen addieren

Bild 42. Stromvervielfachung durch Parallelschaltung von Gleichspannungsausgängen bei ansonsten gleichen Eingangswechselspannungen.



sich zu einer Gesamtspannung. *Bild 41* zeigt das Prinzip der Ausgangsbeschaltung.
Sollen bei gleicher Ausgangsgleichspannung Lastströme entnommen werden, die über die Leistungsfähigkeit einer Sekundärwicklung hinausgehen, können die Gleichspannungsausgänge auch parallelgeschaltet werden *(Bild 42)*. In diesem Falle muß jedoch die Bedingung eingehalten werden, daß die Eingangswechselspannungen und die Ausgangsgleichspannungen gleich groß sind.

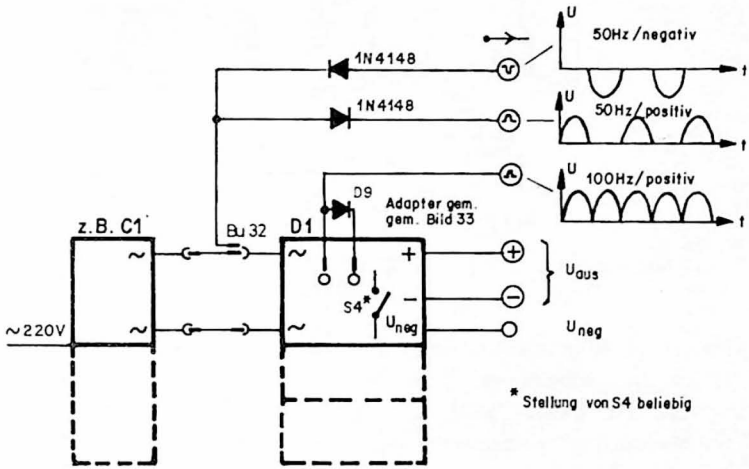


Bild 43. Auskoppeln von 50-Hz- und 100-Hz-Taktfrequenzen.

Schließlich können die Netzgleichrichterzüge D1 ... D3 dazu hergenommen werden, um parallel zum Speisespannungsbetrieb 50- oder 100 Hz-Taktfrequenzen auszukoppeln. Solche Frequenzen können beispielsweise zur Steuerung von Zeitschaltern, Digitaluhren, Digitalzählern usw. herangezogen werden. Während auf die Auskoppelung des 100 Hz-Taktes mittels eines Adapters gemäß *Bild 33* bereits hingewiesen wurde, ist in *Bild 43* zusätzlich dargestellt, wie auch 50 Hz-Takte mit positiven oder negativen Halbwellenimpulsen abgegriffen werden können. Faßt man den in *Bild 33* gezeigten Adapter für 100 Hz mit den Dioden für die Auskoppelung des 50 Hz-Taktes auf einer Platine zu-

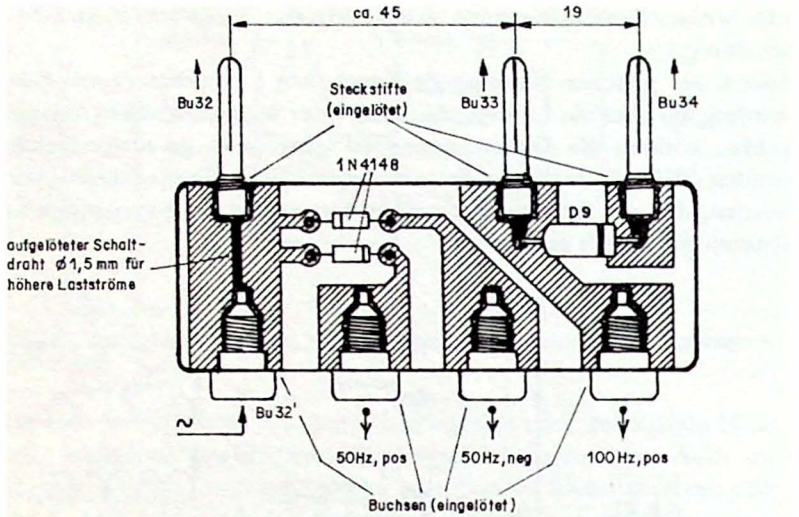


Bild 44. Doppeltkaschierte Leiterplatte als Adapter für die Auskoppelung von 50-Hz- und 100-Hz-Taktfrequenzen.

sammen, entsteht ein Steckbauteil gemäß *Bild 44*, das die Auskoppelung der Taktfrequenzen vor allem dann erleichtert – in dem Sinne „erleichtert" als hierfür keine aus Schaltschnüren bestehende „Kreuzknobelschaltung" zusammengesteckt zu werden braucht – wenn Taktfrequenzen häufiger benötigt werden. Für die Eingangsbuchse Bu32 ist in diesem Adapter die Buchse Bu32' einbezogen, so daß die Eingangswechselspannung unbehindert über diese Buchse eingespeist werden kann.

Die Variable Last

a. Schaltbildkurzbeschreibung

3.26 Der Schaltung der Variablen Last liegt das Prinzip zugrunde, einen Leistungstransistor vom Typ 2N3055 oder BU111 als veränderlichen Wirkwiderstand im Laststromkreis zu betreiben. Zur Veranschaulichung der dazu erforderlichen Steuerspannungsverhältnisse dient die vereinfachte Schaltung in *Bild 45*. T6 ist der im Laststromkreis wirksame, veränderliche Widerstand. Er wird über T5 als Treiber angesteuert.

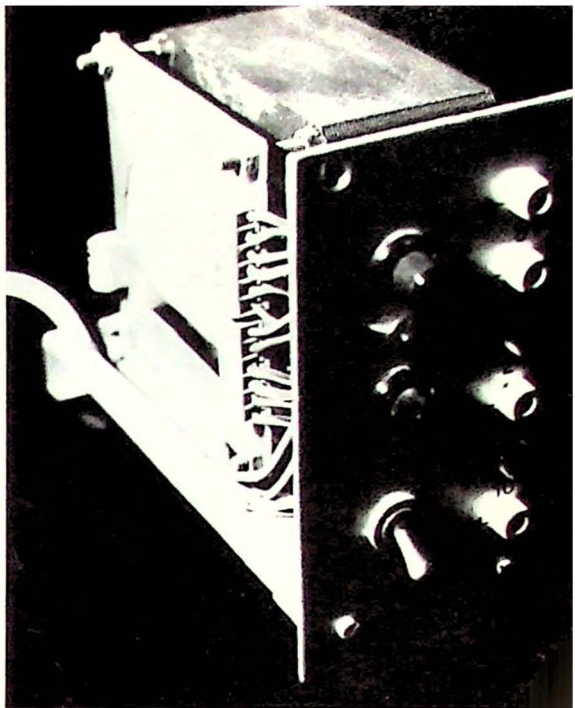


Bild 5. Netztransformatoreinschub mit 2 x 3 Sekundarwicklungen.

Tafel 3

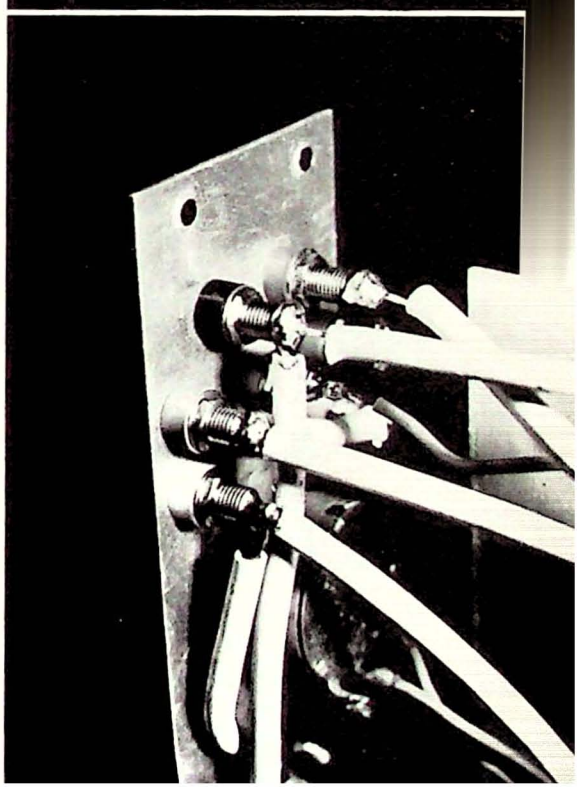


Bild 6. Einschubinterne Verdrahtung mittels dickem Schaltdraht und Isolierschlauch.

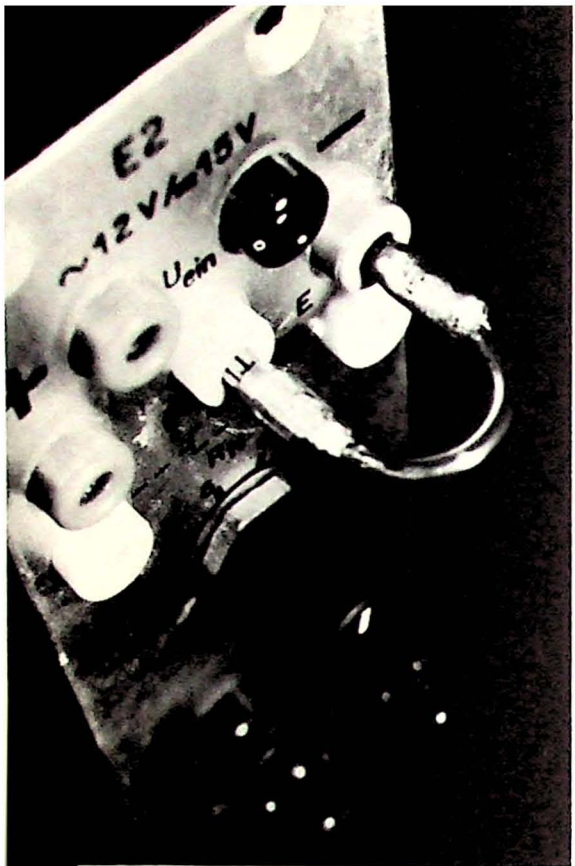


Bild 7. Aus 2 Büschelsteckern gefertigter Kurzschlußbügel im Einschub E2.

Tafel 4

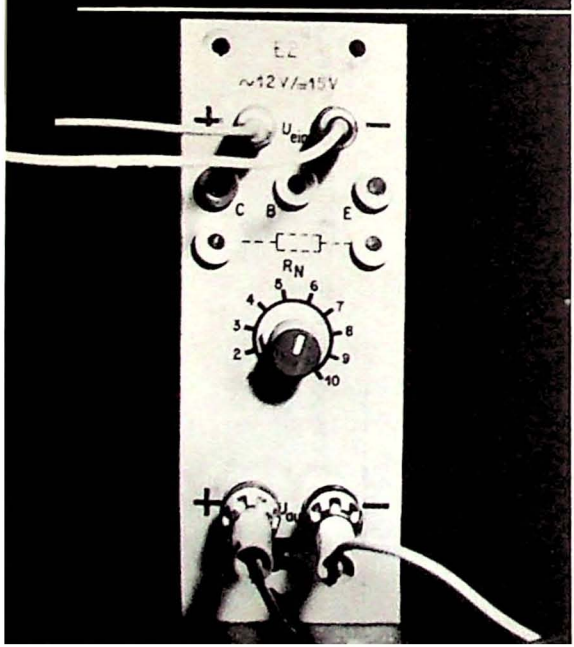


Bild 8. So sieht die Außenbeschaltung eines Moduln aus.

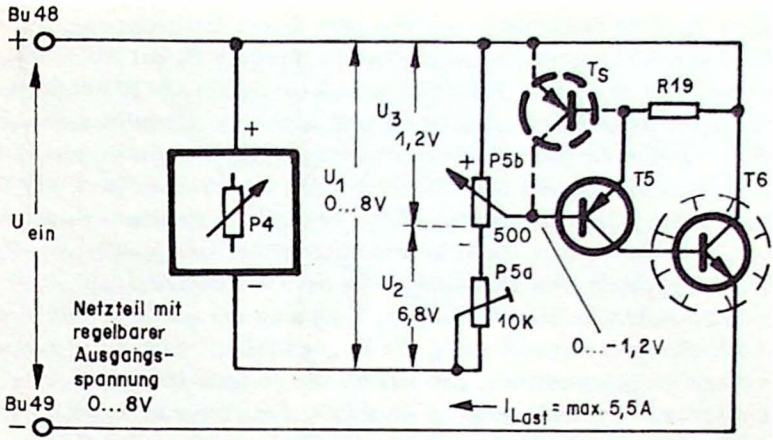


Bild 45. Prinzipskizze zur Wirkungsweise der Variablen Last (Werte von U_2 und U_3 gelten bei P5a = 2 k 833).

Dieser Transistor muß, da es sich dabei um einen PNP-Typ handelt, mit einer negativen Basisvorspannung angesteuert werden. Als Steuerspannung dient eine aus einem separaten Netzteil gewonnene, zwischen 0 und 8 V regelbare stabilisierte Gleichspannung, die mit dem Spannungsteiler P5a/P5b so eingestellt wird, daß an P5b eine maximale Teilspannung (U_3) von 1,2 V abfällt. Steht der Schleifer von P5b am negativen Anschlag, gelangt dieser Spannungswert an die Basis von T5 und bewirkt, daß T6 einen Laststrom von etwa 5,5 A zieht. Wird der Schleifer von P5b zum positiven Anschlag hin verstellt, verringert sich der Laststrom von T6 entsprechend; er kann bis auf Bruchteile eines Milliampere (etwa 0,1 mA, abhängig von dem Reststrom durch T6), praktisch also bis Null zurückgeregelt werden. Bei Einspeisung der maximalen Steuerspannung (U_1) mit 8 V kann der durch T6 fließende Höchstlaststrom durch die Einstellung von P5a beeinflußt werden, da dieser Regler für das Spannungsteilerverhältnis $U_2 : U_3$ maßgebend ist. Wird U_2 verringert, steigt der Laststrom über 5,5 A hinaus an, da U_3 in demselben Maße zunimmt. Wird U_2 dagegen vergrößert, regelt sich der zugehörige Laststrom auf Werte unterhalb 5,5 A zurück. Bei den in *Bild 45* angegebenen Steuerspannungswerten ist P5a auf einen Wert von etwa 2,8 KOhm eingestellt. Gehen wir für die weitere Erläuterung von diesem

Wert aus und damit also auch von dem Höchstlaststrom von 5,5 A. Wird nun die Ursprungssteuerspannung U_1 mittels P4 auf Werte < 8 V zurückgeregelt, ändern sich natürlich auch die an P5a und P5b auftretenden Spannungsabfälle; sie gehen ebenfalls zurück. Dadurch verringert sich zwangsläufig auch die Basisvorspannung für T5, was insgesamt zu einer Reduzierung des durch T6 fließenden Laststromes führt. Mit P4 kann daher jeder zwischen 0 und 5,5 A gewünschte maximale Laststrom voreingestellt werden. Die Feineinstellung erfolgt dann jeweils mit P5b.
Die Möglichkeit, den Höchstlaststrom mit P4 voreinzustellen, erweist sich besonders im Hinblick auf das Einhalten der maximal zulässigen Verlustleistung als zweckmäßig, die T6 „verkraften" muß. Dazu müssen wir uns vergegenwärtigen, daß nahezu die gesamte im Laststromkreis entstehende Verlustleistung an T6 abfällt; der Transistor erwärmt sich infolgedessen stark. Wird er mit einem Kühlkörper von ca. 1,5 K/W (lies: Kelvin pro Watt; die Angabe besagt, daß sich der Kühlkörper pro Watt Leistungszunahme um nicht mehr als 1,5 K oder °C erwärmt) ausgestattet, kann er bis zu 100 W Verlustleistung aufnehmen. Dies heißt aber nichts anderes als: Das Produkt aus der eingespeisten Eingangsspannung (0 ... 50 V) und dem Höchstlaststrom darf 100 W nicht überschreiten. In *Bild 46* ist diese Abhängigkeit in Form der Verlustleistungshyperbel für 100 W dargestellt. *Die höchstzulässige Verlustleistung wird nach dieser Abhängigkeit immer dann überschritten, wenn T6 im schraffiert angelegten Bereich, also oberhalb der Verlustleistungskurve, betrieben wird. Dies führt in der Regel zur thermischen Überlastung sowohl von T6 als auch von T5.* Im ungünstigsten Falle kann dies sogar dazu führen, daß auch der gerade unter Belastung geprüfte Baustein dabei in Mitleidenschaft gezogen wird und „seinen Geist gleich mitaufgibt". Wird T6 dagegen im Bereich unterhalb der Verlustleistungshyperbel betrieben, kann er die entstehende Wärme gefahrlos aufnehmen bzw. über den Kühlkörper an die Umgebung abgeben. Da die Variable Last mit sehr unterschiedlichen Eingangsspannungen zwischen 0 und 50 V beschickt werden kann, sollte P4 geeicht werden – entweder in Ampere/höchstzulässiger Laststrom (dann muß jedoch vor jeder Beschickung berechnet werden, welche Eingangsspannung höchstens eingespeist werden darf) oder in Volt/Eingangsspannung (dann braucht der Eingangsspannungswert nur an P4 voreingestellt zu werden, und es ist garantiert, daß die Verlustleistung nicht über die kritische Grenze von 100 W

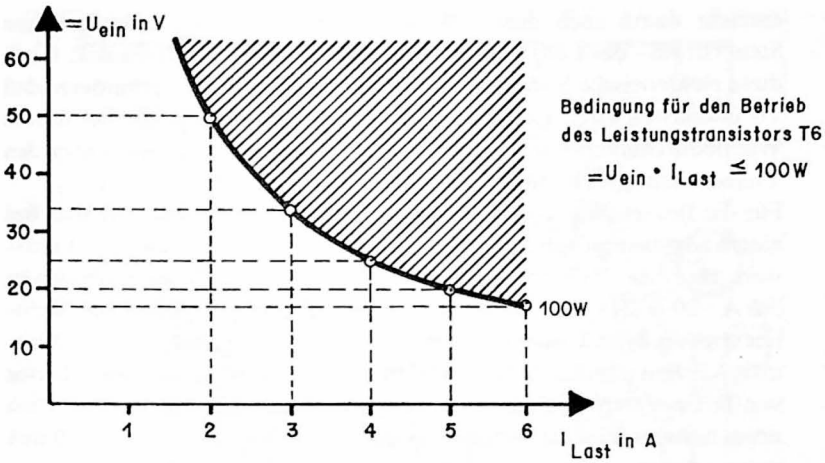


Bild 46. Verlustleistungshyperbel 100 W.

hinausgeht). Im Mustergerät des Verfassers wurde P4 daher in Volt/Eingangsspannung geeicht; so ist auch die Beschriftung der Frontplatte ausgelegt (vgl. Regler I_{Grenz} in Bild 49).
Es kann dennoch einmal vorkommen, daß P4 falsch eingestellt ist und T6 infolgedessen seinen Geist aufgibt. Zwei Wege können beschritten werden, um dem vorzubeugen. Der erste besteht darin, P4 nicht als Potentiometer sondern als Spannungsteiler aus Einzelwiderständen über einem Stufenschalter auszubilden. Bei der Berechnung der Teilerwiderstände ist von einem Querstrom von etwa 2 mA auszugehen. Diese Methode garantiert zwar auch nicht hundertprozentig, daß P4 richtig eingestellt ist; ein Stufenschalter verhindert jedoch auf jeden Fall eine unbeabsichtigte Verstellung, was bei einem Potentiometer immer wieder einmal vorkommen kann. Die zweite Möglichkeit besteht darin, die aus T_S und R19 bestehende Überstromsicherung vorzusehen. Im Betrieb ohne diese Sicherung sollte R19 einen Wert von 1 ..... 5 Ohm/5 W haben, er kann auch weggelassen und statt dessen durch eine Drahtbrücke ersetzt werden. Wird jedoch T_S als Schalttransistor hinzugefügt, ist R19 als Spannungsfühler erforderlich. Beträgt die infolge des Steuerstromes durch T5 an R19 abfallende Spannung ca. 0,6 V, schaltet T_S durch und legt Pluspotential an die Basis von T5. Der Treiber sperrt und

entzieht damit auch dem Leistungstransistor T6 den erforderlichen Steuerstrom – der Laststrom geht auf ungefährliche Werte zurück. Auch diese elektronische Sicherung kann nicht in jedem Falle verhindern, daß T6 überlastet wird. Sie bewirkt jedoch immerhin, daß der bei einem Wärmedurchbruch von T6 auch durch T5 zunehmende Laststrom den Treiber nicht gleich mitzerstört.

Für die Berechnung von R19 kann wie folgt vorgegangen werden: Bei einem angenommenen Stromverstärkungsfaktor von 20 (Durchschnittswert für den 2N3055) muß der für T6 erforderliche Basisstrom 5,5 A : 20 = 275 mA betragen. Da nun aber T_S infolge von Nichtlinearitäten beim Übergang vom Sperr- zum Leitzustand nicht schlagartig sondern allmählich durchschaltet und der Stromverstärkungsfaktor von T6 einer recht beträchtlichen Exemplarstreuung unterliegt, sollte ein etwas höherer Steuerstrom zugrundegelegt werden. Wird er mit 400 mA angenommen, errechnet sich der Wert für R19 nach der Beziehung:

$$R19 = \frac{0{,}6\ V}{0{,}4\ A} = 1{,}5\ Ohm$$

Die an R19 dann abfallende Verlustleistung beträgt 0,24 W. Für R19 wird daher ein Widerstand der Normreihe mit einem Wert von 1,5 Ohm/1 W eingesetzt. Für T_S genügt ein BC177 (oder jeder ähnliche Typ).

3.27 Die detaillierte Schaltung ist nun in *Bild 47* dargestellt. Sie wird ergänzt durch die Stückliste H. Den eigentlichen Laststromkreis bilden die Elemente Bu48 (Pluspol der Eingangsgleichspannung), T6, S6a, R17 oder R18 (je nach Stellung von S6a) und Bu49 (Minuspol der Eingangsgleichspannung). Als Treiber T5 ist ein BD138 vorgesehen. Das für die Erzeugung der 8V-Steuerspannung erforderliche Netzteil wird aus einem eigenen Netztransformator Tr4 gespeist und liefert eine über D15 stabilisierte Ausgangsgleichspannung von 9,8 V (siehe Spannungsangabe im Dreieck). Diese dient einerseits als Betriebsspannung für den Operationsverstärker (1/4 LM324), andererseits als Referenzspannung für den mit IS2 aufgebauten Nullspannungsnachsetzer. Mit P4 muß die Ausgangsspannung am Emitter von T3 zwischen 0 und 8 V kontinuierlich einstellbar sein. Wer den Einsatz eines Operationsverstärkers als Nullspannungsnachsetzer für zu aufwendig hält, kann IS2 und die Widerstände R13, 14 weglassen und die Basis von T3 über R15 mit dem Schlei-

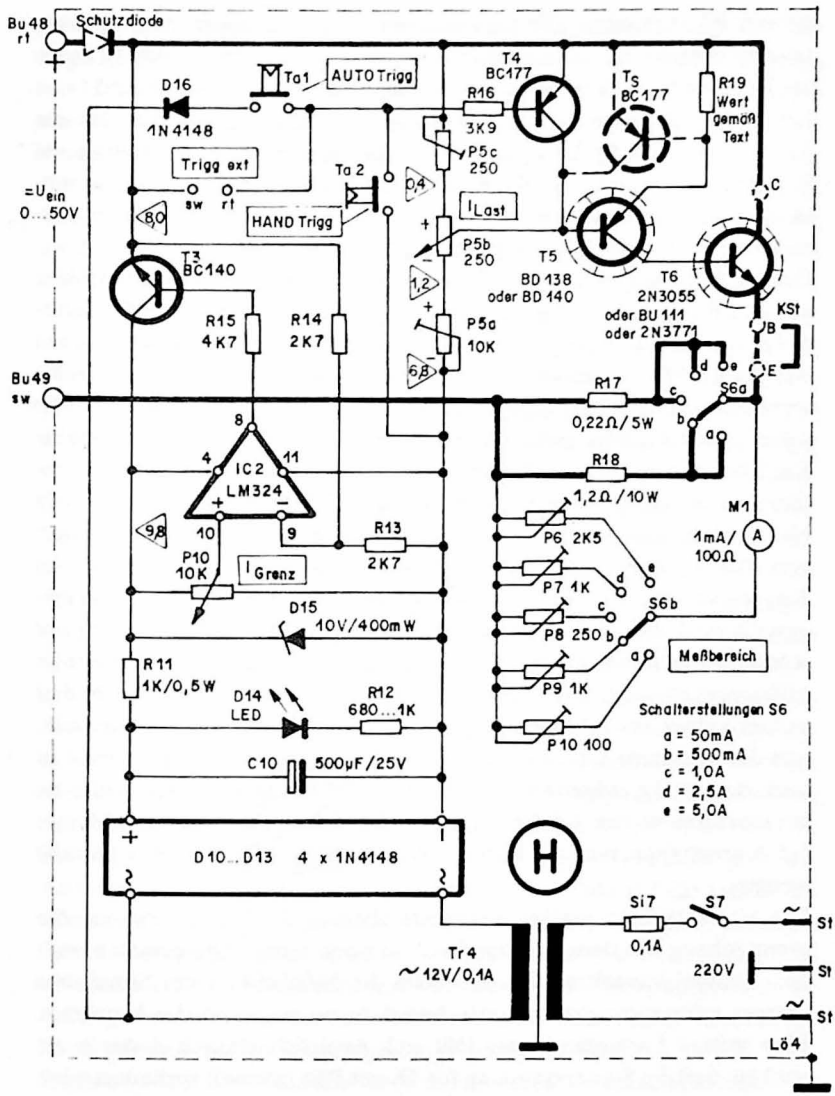


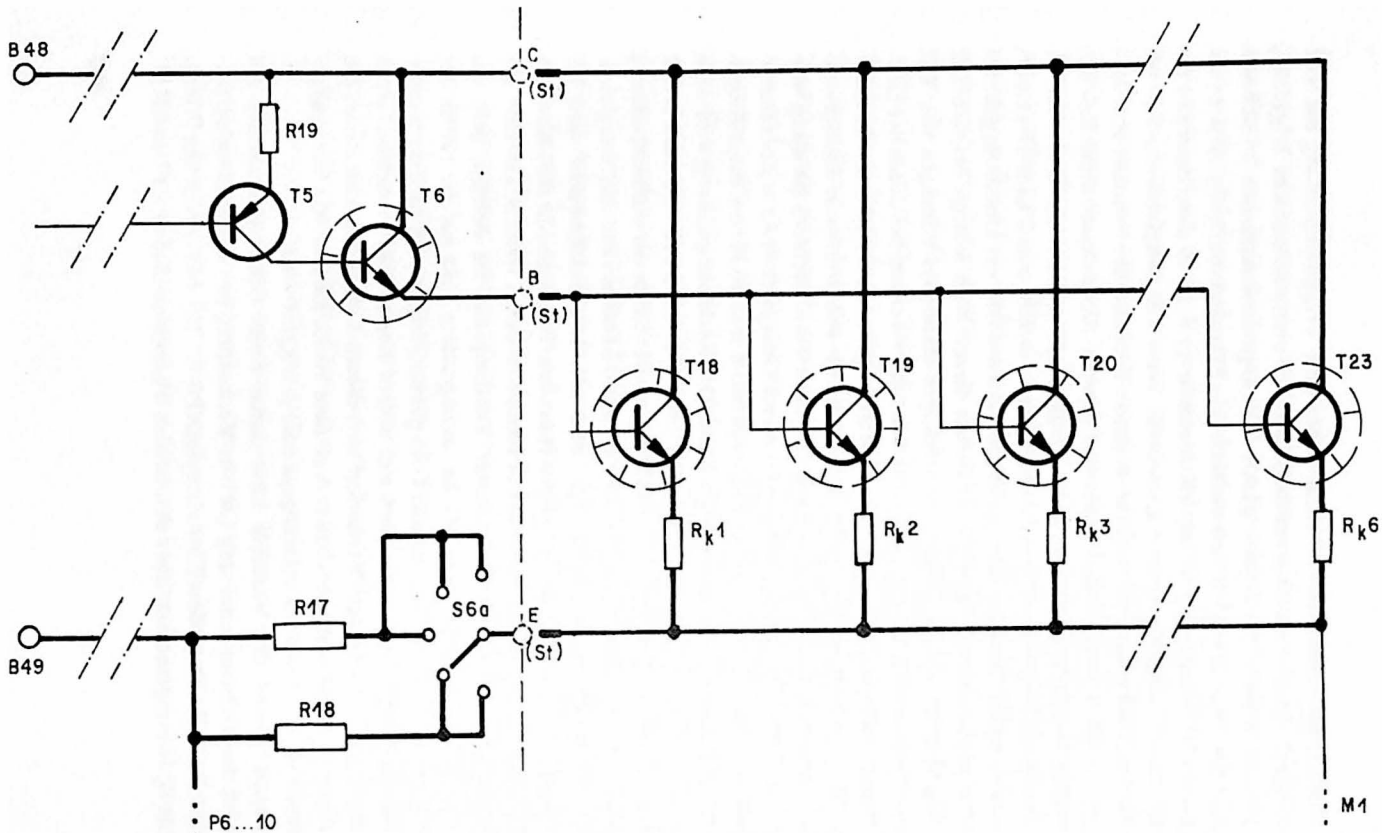
Bild 47. Schaltung der Variablen Last (Zusatzbaustein H), 0 . . .50 V/1mA . . . 5 A.
Statt „P10" bei IC2, Pin10 lies P4.

fer von P4 verbinden. Die Stabilisierung der Steuerspannung ist dann zwar nicht mehr ganz so gut, infolge des geringen Stromes durch T3 (auch bei Höchstlast), jedoch ausreichend. Im Bestückungsplan *(Bild 51)* ist diese Möglichkeit durch eine Drahtbrücke angedeutet, mit der die Anschlüsse 8 und 10 des IS-Sockels zu verbinden sind. Die Widerstände R13 und R14 können bei dieser Schaltungsvariante auf der Platine verbleiben oder ersatzlos entfernt werden. R15 muß auf der Platine verbleiben und soll zwischen 4,7 und 10 KOhm betragen.

Der für die Ansteuerung von T5 erforderliche Spannungsteiler wird hier aus den Reglern P5a, P5b, P5c gebildet. Er weicht etwas von der Darstellung in *Bild 45* ab, da P5c hinzugekommen ist. Bei genauem Hinsehen ist jedoch schnell feststellbar, daß es sich bei diesem Regler um den Halbwert des in *Bild 45* dargestellten 500 Ohm-Reglers P5b handelt. P5b selber ist auch auf die Hälfte, nämlich 250 Ohm verringert. Dieser kleine Kniff bietet folgenden Vorteil. Würde P5b als 500 Ohm-Regler ausgeführt, müßte er – bevor ein Laststrom durch T6 zu fließen beginnt – etwa bis zur Hälfte aufgedreht werden (dies entspricht einem Spannungswert von -0,4 V), d.h. nahezu die Hälfte seines Einstellbereiches würde im Totgang verbraucht. Abhilfe schafft der 250 Ohm-Regler P5c, der so eingestellt wird, daß an ihm 0,4 V abfallen. Wird P5b nun betätigt, beginnt sofort ein Laststrom durch T6 zu fließen. Der Strom läßt sich nun auch im Milliamperebereich sehr genau einstellen. Über den Regler P5a bedarf es hier keiner zusätzlichen Erläuterungen mehr. Er wird so eingestellt, daß der maximale Laststrom durch T6 5,5 A beträgt. Im Schaltbild ist auch die mit T_S aufgebaute Überstromsicherung angedeutet; sollte sie bei einem Wert von 1,5 Ohm für R19 bereits bei Lastströmen kleiner 5,5 A abschalten, muß für R19 ein Wert von 1,2 oder 1,0 Ohm gewählt werden.

Die Variable Last verfügt nun noch über einige Extras, die im Zusammenhang mit dem Prinzipschaltbild noch nicht angesprochen wurden. Einmal handelt es sich dabei um die Möglichkeit der Simulation stetiger oder sprunghafter Lastschwankungen während des Betriebes. Eine stetige Lastveränderung läßt sich natürlich einfach dadurch erreichen, daß die Steuerspannung für T6 mit P5b manuell verändert wird. Soll jedoch auch eine schnelle Folge von Lastspitzen (Impulsbelastung) auf den zu prüfenden Baustein gegeben werden, kann dies nicht mehr manuell über P5b bewirkt werden. Mit den Tastern Ta1 und Ta2 sowie

dem PNP-Transistor T4 steht daher eine Triggereinrichtung zur Verfügung, die sowohl eine manuelle als auch eine automatische Triggerung von T6 erlaubt. Ihr liegt folgende Wirkungsweise zugrunde: T4 ist hochohmig, solange sein Basisanschluß kein Potential führt; dies ist der Fall, wenn Ta1 und Ta2 geöffnet (Ruhestellung) sind. T6 zieht dann den mit P4 und P5b eingeprägten Laststrom. Wird nun beispielsweise Ta2 per Hand geschlossen, gelangt das negative Potential des Netzteils über R16 an die Basis von T4; der Transistor schaltet infolgedessen durch und legt damit das positive Potential der Eingangsspannung an die Basis von T5. Dieser Transistor sperrt schlagartig und entzieht damit auch T6 den erforderlichen Basisstrom; folglich sperrt auch T6 – der Laststrom geht auf Werte um 0,1 mA zurück. Er behält diesen Wert solange bei, wie Ta2 geschlossen bleibt. Durch mehrmaliges manuelles Betätigen von Ta2 können somit einzelne Lastspitzen simuliert werden, bei denen der Laststrom zwischen 0,1 mA und dem eingeprägten Maximalstrom schwankt.
Sollen demgegenüber auch periodisch sich wiederholende Lastschwankungen simuliert werden, muß T4 über eine Rechteckspannung ausreichender Amplitude gesteuert werden. Geeignet ist hierzu jeder Rechteckgenerator, dessen Frequenz zwischen 5 und 50 Hz bei einer Amplitude von $\geqq$ 1 V variiert werden kann. Die Rechteckspannung wird dann über die Klinkenbuchse „Trigg ext" zugeführt. Denselben Zweck erfüllt ein 50 Hz-Takt, der über D16 direkt aus der Sekundärwechselspannung von Tr4 gewonnen wird (dieses Verfahren ist bereits von den Netzgleichrichterzügen her bekannt, vgl. *Bild 43)*. Die Taktfrequenz wird bei diesem Verfahren mit Ta1 an die Basis von T4 gelegt. Für die Dauer der Schließung von Ta1 schwankt der Laststrom durch T6 im 50 Hz-Takt. Da das Puls-Pausenverhältnis dieser Taktfrequenz 1:1 beträgt, geht die Anzeige des Meßwerkes M1 bei anliegendem Takt auf die Hälfte der Maximalstromanzeige zurück. Dies gilt im übrigen auch für extern zugeführte Rechteck-Taktfrequenzen, sofern deren Puls-Pausenverhältnis ebenfalls 1:1 beträgt. Verändert sich dieses Verhältnis, ändert sich die Anzeige an M1 entsprechend. Auf diese Weise kann an M1 direkt abgelesen werden, ob T6 ordnungsgemäß getriggert wird.
Ergänzt wird die Variable Last durch einen Gleichstrommesser mit Mehrbereichsumschaltung (M1 in Verbindung mit den Meßwiderständen R17, R18 und den Einstellreglern P6 . . . 10). M1 arbeitet im Prinzip als Spannungsmesser über den beiden Meßwiderständen R17 und R18.

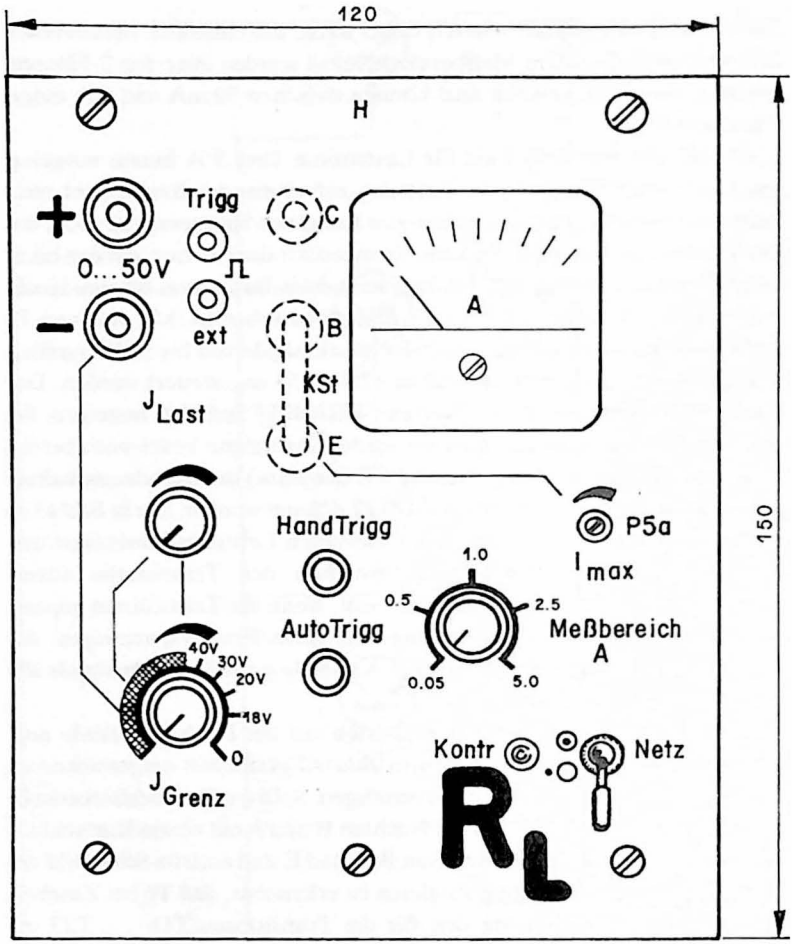

B48
C
(St)
R19
T5
T6
B
(St)
T18
T19
T20
T23
R_k1
R_k2
R_k3
R_k6
R17
S6a
E
(St)
B49
R18
P6...10
M1

Die Trimmwiderstände dienen dabei dazu, die einzelnen Meßbereiche fein abzugleichen. Die Meßbereiche selbst werden über den 2-Ebenen-Schalter S6a/S6b gewählt und können zwischen 50 mA und 5 A eingestellt werden.

3.28 Soll die Variable Last für Lastströme über 5 A hinaus ausgelegt werden, reicht T6 allein als Leistung aufnehmendes Bauelement nicht mehr aus (weder, was den zulässigen Kollektor/Emitterstrom noch, was die Kühlung anbelangt). T6 kann dann jedoch dazu dienen, um den bis zu einer Größenordnung von 3 A anwachsenden Basisstrom für eine Hochlastkaskade zu liefern, wie sie in *Bild 48* zu sehen ist. Mit dem von T6 erzeugten Basistrom kann eine Hochlastkaskade von bis zu 10 parallelgeschalteten Leistungstransistoren (2N3055) angesteuert werden. Der Laststrom kann dann bis zu Werten zwischen 15 und 20 A ansteigen. Bei entsprechender Kühlung können solche Lastströme heute auch bereits durch nur wenige (zwischen 4 und 6 Exemplare) in Kaskade geschaltete Leistungstransistoren des Typs TIP122 erzeugt werden. Die in *Bild 48* zu sehenden Emitterwiderstände der einzelnen Leistungstransistoren dienen dazu, Exemplarstreuungen zwischen den Transistoren auszugleichen. Derselbe Zweck wird erreicht, wenn die Transistoren gepaart werden. In diesem Falle sollten die Basis/Emitterspannungen der einzelnen Transistoren bei $I_C = 1{,}5$ A und $U_{CE} = 3$ V nicht mehr als 200 mV voneinander abweichen.

Wird die Variable Last für den Betrieb mit der Hochlastkaskade ausgelegt, ist es notwendig, an den in *Bild 47* gestrichelt eingezeichneten Stellen die Buchsen C, B und E einzufügen. Solange die Hochlastkaskade nicht angeschlossen ist, sind die Buchsen B und E mit einem Kurzschlußstecker zu verbinden. Die Buchsen B, C und E sind auch im Schaltbild der Hochlastkaskade zu sehen. Zugleich ist erkennbar, daß T6 bei Zuschaltung der Hochlastkaskade den für die Transistoren T18 ... T23 erforderlichen Basisstrom liefert. Um die über 5 A hinausgehenden Lastströme in der Praxis auch tatsächlich zu erreichen, muß P5a dem jeweiligen Laststrom angepaßt werden. Wenn der Betrieb mit Hochlastkaskade daher häufiger vorkommt, sollte P5a als von der Frontplatte her zugänglicher Regler mit Schraubenzieherantrieb montiert werden. In

Bild 48. (links) Erweiterung der Variablen Last mit einer Hochlastkaskade für Lastströme bis 10 A.



diesem Falle sollte u.U. sogar der Einsatz eines Mehrgang-Wendelpotentiometers erwogen werden.

b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung

3.29 Für den Aufbau der Variablen Last H gelten die folgenden Grundlagen:

– Leereinschub 1 Stück, Einbaubreite 120 mm

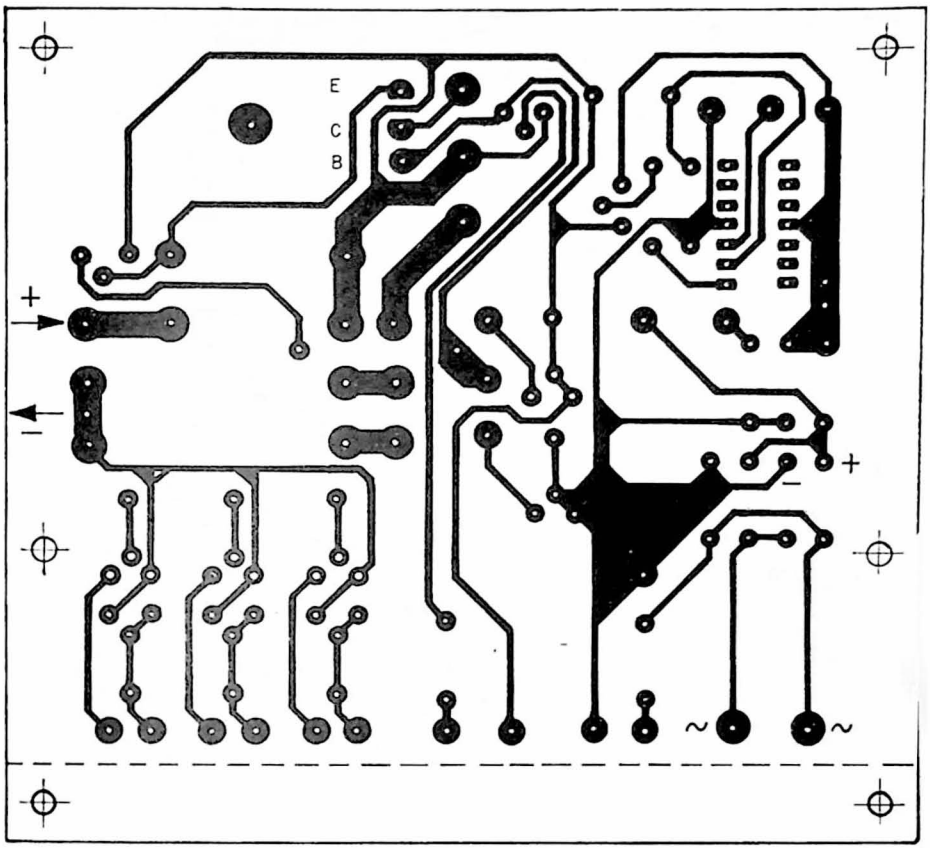


Bild 50. (oben) Platinenauslegung für die Variable Last, Ansicht von der Lötseite (Maßstab 1:1).

Bild 49. (links) Frontplattenauslegung der Variablen Last H.

– Frontplattenauslegung	gemäß Bild 49 (Anhalt)	
– Bauelemente	gemäß Stückliste H	
– Leiterplattenauslegung und -bestückung	gemäß Bild 50 und 51	
– Anordnung der Bauelemente im Einschub	gemäß Bild 52	(weiter S. 115)

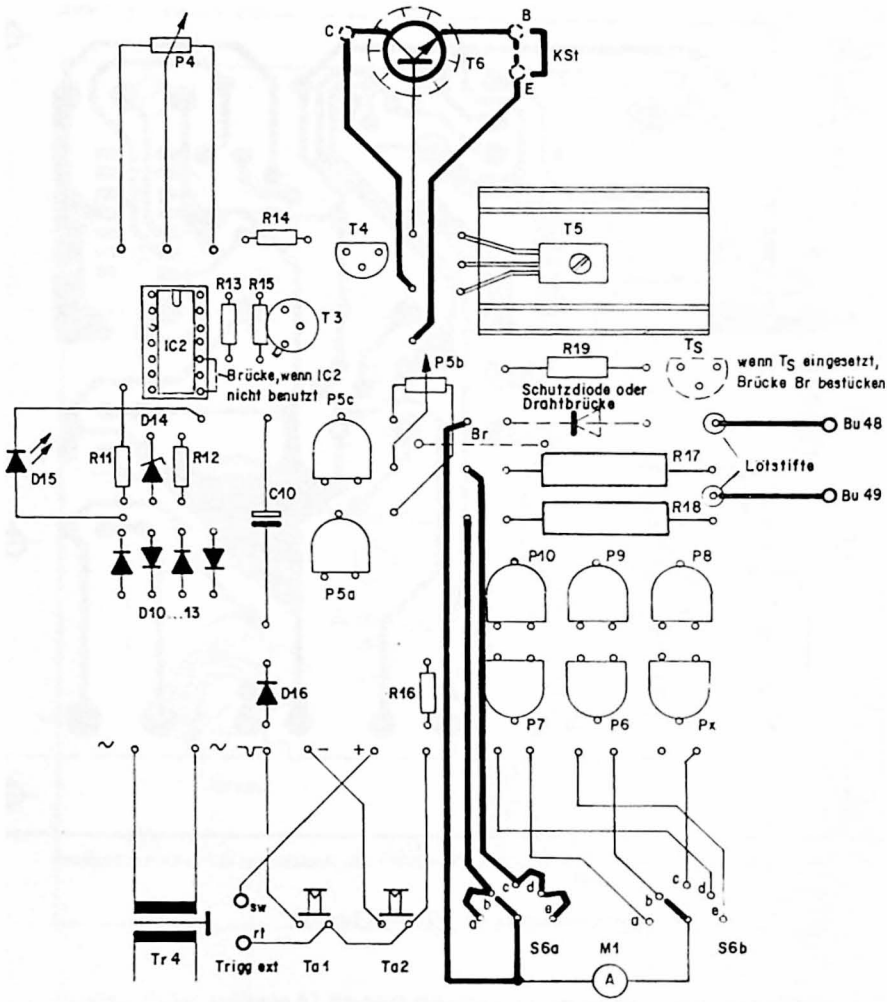


Bild 51. Bestückungsplan und Anschaltschema der Variablen Last H.

Stückliste H Variable Last, Zusatzbaustein H

Widerstände

1 Stück	R11	1K	
1 Stück	R12	680 . . . 1K	
2 Stück	R13, 14	2K7	
1 Stück	R15	4K7	
1 Stück	R16	3K9	
1 Stück	R17	Hochlastwiderstand 0,22Ohm/5W	
1 Stück	R18	Hochlastwiderstand 1,2 Ohm/5 W	
1 Stück	P4	10K, linear	
1 Stück	P5a	10K, linear Trimmer	
1 Stück	P5b	Drahtpotentiometer 250 Ohm/0,25 W	liegend
1 Stück	P5c	250 Ohm, linear Trimmer	
1 Stück	P6	2K5, linear Trimmer	
2 Stück	P7, 9	1K, linear Trimmer	
1 Stück	P8	250 Ohm, linear Trimmer	
1 Stück	P10	100 Ohm, linear Trimmer	
1 Stück	R19	1 . . . 5 Ohm/1W	

Kondensatoren

1 Stück	C10	500 µF/25 V Elyt

Halbleiter

1 Stück	T_S	BC177 o.ä. PNP-Typ (nur, wenn Überstrom-Sicherung vorgesehen wird)
1 Stück	T3	BC140 o.ä. NPN-Typ
1 Stück	T4	BC177 o.ä. PNP-Typ
1 Stück	T5	BD138 oder BD140 PNP-Typ
1 Stück	T6	2N3055, TIP3055, BU111
4 Stück	D10 . . . 13	1N4148
1 Stück	D14	LED rot
1 Stück	D15	Zenerdiode 10 V/400 mW
1 Stück	D16	Si-Diode 1N4148
1 Stück		Schutzdiode, Laststrom ≥ 5 A ohne besondere Kühlmaßnahmen

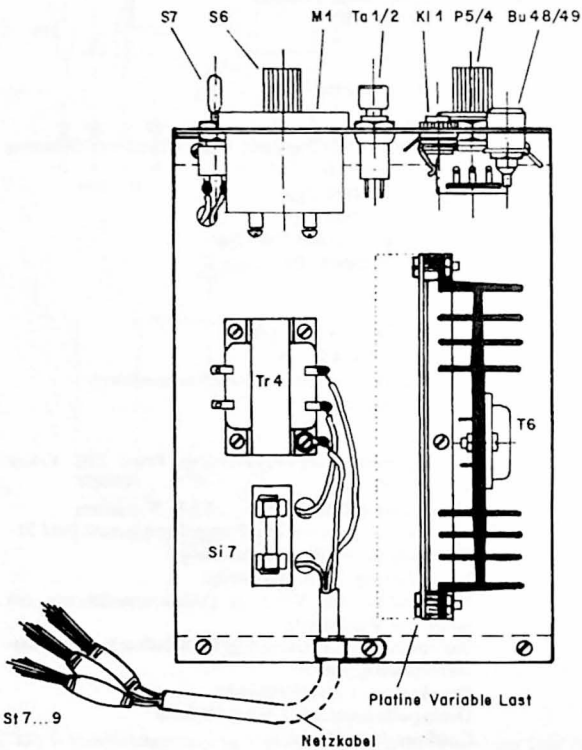
Spezialteile

1 Stück	Tr4	Netzkleintransformator, Trenntyp Prim: 220 V/Sek: 12 V/0,1 A
1 Stück		Hochleistungskühlkörper 1 . . . 1,5 k/W
1 Stück		Kleinkühlkörper (für T5), Formgebung gemäß Bild 51
1 Stück		Sicherungshalter für Feinsicherung
1 Stück	Si7	Feinsicherung 0,1 A/mittelträge
1 Stück	S7	Netzschalter 220 V/0,5 A (Miniaturausführung mit isoliertem Kipphebel)
1 Stück	S6a, b	Stufenschalter, 2 Ebenen, 5, ggf. 6 Schaltstellungen, Kontaktbelastung 250 W
2 Stück	Ta1, 2	Drucktaster, 1 Arbeitskontakt
1 Stück	M1	Drehspulinstrument, 1 mA/100 Ohm Gehäuse 42 x 42 mm

Mechanische Teile

1 Stück		Leiterplatte gemäß Bild 50
2 Stück	Bu48, 49	Buchse, vollisoliert, Innen Ø 4 mm 1 rot, 1 schwarz (bei Vorbereitung für den Anschluß einer Hochlastkaskade zusätzlich 1 rot, 1 gelb, 1 blau und 1 Kurzschlußstecker)
3 Stück	St7, 8, 9	Büschelstecker, Ø 4 mm je 1 blau, 1 schwarz, 1 gelb
3 Stück		Skalenknopf mit Anzeigemarke
1 Stück	KST	Kurzschlußstecker
div.		Lötnägel
div.		Steckhülsen für Lötstifte
div.		Lötstifte
div.		Steckhülsen für Lötstifte

Bild 52. Montageanhalt für den Einschub Variable Last (Maßstab 1:2).



– Reihenfolge des Aufbaus

1. Aufbau des Leereinschubes einschließlich Frontplattenbeschriftung und -bestückung
2. Herstellen und Bestücken der Leiterplatte gemäß Bild 50 und 51; der Hochleistungskühlkörper mit T6 wird über Abstandsrollen 10 mm mit der Leiterplatte verschraubt
3. Externe Funktionsüberprüfung des Hochleistungsmoduls (noch ohne M1)
4. Einbau des Hochleistungsmoduls in den Einschub
5. Einbau des Netztransformators Tr4
6. Verdrahtung aller Komponenten im Einschub (noch ohne M1)
7. Verdrahtungskontrolle vor der Funktionsüberprüfung
8. Funktionsüberprüfung (noch ohne M1, jedoch mit externem Gleichstrommesser)
9. Verdrahten von M1, Eichen der Gleichstrombereiche
10. Einbau in den Gehäuserahmen 1

3.30 Der Aufbau der Variablen Last ist insgesamt unkritisch, wenn keine Verdrahtungsfehler gemacht werden. Baut man die einzelnen Teile entsprechend der oben angegebenen Reihenfolge auf, ist darauf zu achten, daß das Meßwerk M1 zunächst noch nicht in die Verdrahtung einbezogen wird, da es noch nicht geeicht ist und im Zuge der Funktionsüberprüfung u.U. beschädigt werden könnte. Die Funktionsüberprüfung ist daher mit Hilfe eines externen Gleichstrommessers vorzunehmen, der nach Art von *Bild 53* angeschlossen wird. Er soll über einen Gleichstrommeßbereich von mindestens 8 A verfügen. Die Funktionsüberprüfung sowohl der Leiterplatte als auch des fertig verdrahteten Einschubes ist nun in folgenden Schritten durchzuführen. Zuerst wird P5a mit seinem Schleifer auf Mittelstellung gebracht. Der Schleifer sollte überhaupt nicht zum positiven Anschlag verdreht werden, weil P5b und P5c im ungünstigsten

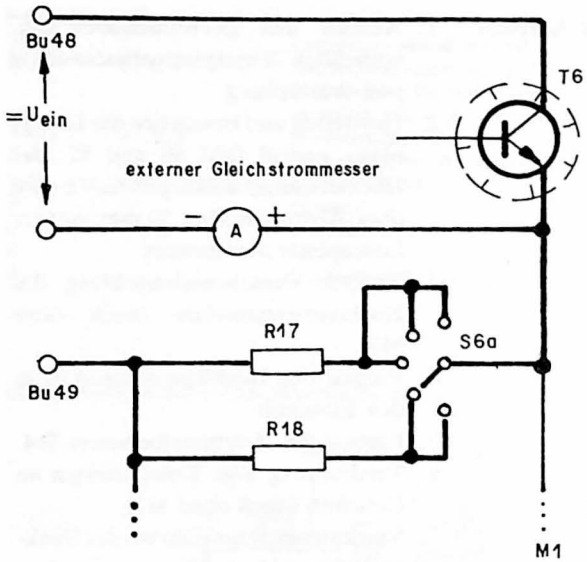
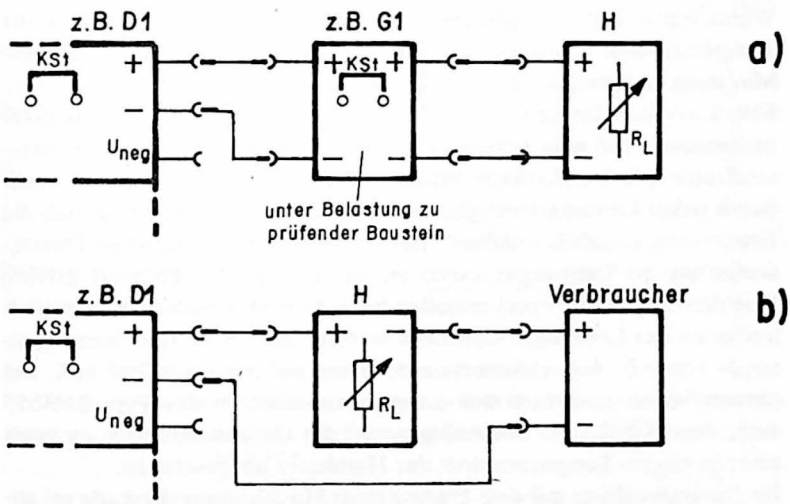


Bild 53. Hilfsschaltung zum Anschluß des externen Strommessers.

Falle einen Strom bis zu 40 mA aufnehmen würden, was zu ihrer Beschädigung führen kann. Nun kann Netzspannung auf Tr4 gegeben werden, LED D14 signalisiert die Betriebsbereitschaft des Netzteils. Am Emitter von T3 müssen zwischen 0 und 9,8 V gemessen werden, je nach Stellung von P4. P5b und P5c werden nun auf den jeweils negativen Anschlag gestellt (vgl. *Bild 47);* dasselbe gilt für P5a. Wird nun eine 12 V-Gleichspannung hoher Belastbarkeit auf die Eingangsbuchsen Bu48/49 gegeben (hierzu eignet sich am besten eine der beiden 12 V-Spannungen des Einschubes C2 nach Gleichrichtung mittels eines der drei Netzgleichrichterzüge), kann mit P5a ein Laststrom von 5,5 A eingestellt werden. Wird P5b jetzt zum positiven Anschlag verstellt, geht der Laststrom auf Null zurück, ein Zeichen, daß T6 ordnungsgemäß angesteuert wird. Wir belassen P5b am positiven Anschlag und verdrehen nun P5c so weit, bis der Zeiger des Strommessers gerade anzusprechen beginnt. Wenn wir jetzt P5b wieder in Richtung auf den negativen Anschlag drehen, steigt der Laststrom sofort an. Auf diese Weise ist die gesamte Widerstandsbahn von P5b in den Regelbereich einbezogen.

Der Laststrom wird für die weitere Überprüfung auf 1 A eingestellt. Drücken wir jetzt Ta2, fällt der Laststrom schlagartig auf Null zurück, Hinweis dafür, daß die von T4 abhängige Handtriggerung ordnungsgemäß funktioniert. Beim Schließen von Ta1 geht die Laststromanzeige auf 0,5 A zurück, da dann der 50 Hz-Takt anliegt. Wird schließlich die Steuerspannung mit P4 zurückgenommen, geht auch der maximal einstellbare Laststrom zurück. Er ist mit P5b dann nur noch zwischen Null und dem mit P4 voreingestellten Maximalwert fein regelbar.
Zur Eichung von P4 werden nacheinander 10, 20, 30 und 40 V auf die Eingangsbuchsen gegeben und P4 jeweils so eingeregelt, daß die Verlustleistung bei jeweils etwa 90 W liegt. Vorsicht ist bei Eingangsspannungen von 50 V geboten, der Laststrom sollte dann nicht mehr als 1,5 A betragen, weil die eingesetzten Halbleiter mit Ausnahme von T6 an der Grenze ihrer U_{CE}-Spannungsbelastung arbeiten.
Zum Schluß wird der externe Strommesser durch das Internmeßgerät ersetzt. Zur Eichung der einzelnen Meßbereiche sind die Regler P6 ... P10 zunächst auf den negativen Anschlag (Bu49-seitiger An-

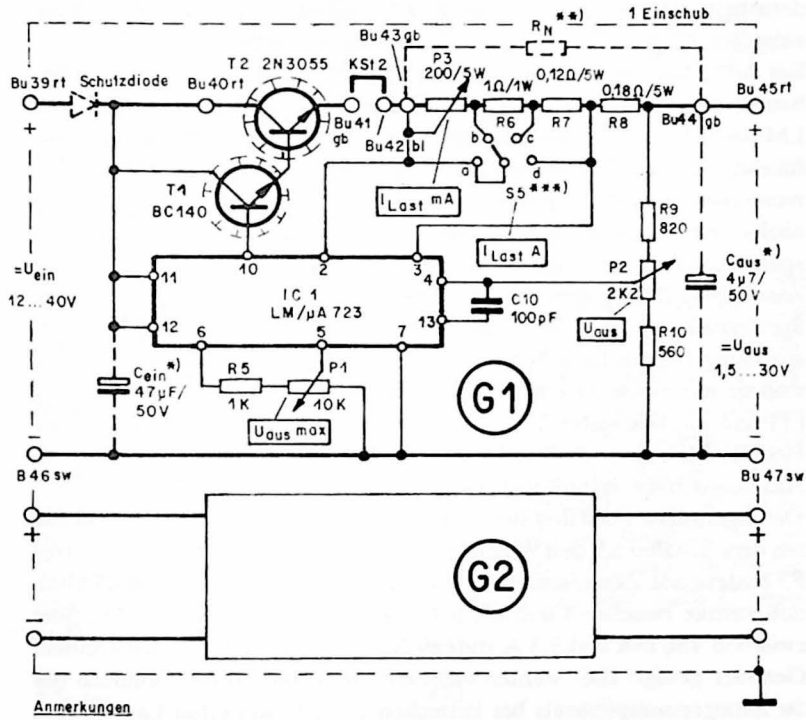
Bild 54. Einsatz der Variablen Last H
a) als reiner Lastwiderstand
b) als Strombegrenzungswiderstand



schlag) zu bringen. Der externe Strommesser wird in den Last-Stromkreis einbezogen (in Serie zu Bu49 schalten). Nun werden verschiedene Lastströme eingestellt und M1 mit Hilfe des zugeordneten Reglers jeweils auf Höchstausschlag abgeglichen. Dieser Abgleich kann natürlich nur so genau sein wie die Anzeige an dem externen Referenzstrommesser. Da es hier jedoch nicht um Abgleichgenauigkeiten im µA-Bereich geht, ist die erzielbare Genauigkeit ausreichend.
Nach dem Abgleich der Gleichstrommeßbereiche ist auch die Variable Last gebrauchsfertig. Der Einschub braucht daher nur noch in den Gehäuserahmen 1 eingebaut zu werden.
c. Anwendungsbeispiele für die Variable Last
3.31 Das hauptsächliche Anwendungsgebiet für die Variable Last erstreckt sich auf die Funktionsüberprüfung von Bausteinen, die höhere Gleichstromleistungen abzugeben haben. Die in diesen Fällen übliche Anschaltung zeigt *Bild 54.*
Sie kann jedoch auch, wie in *Bild 54b* angegeben, als Strombegrenzungswiderstand in Serie mit dem Verbraucher geschaltet werden. Fließen hierbei höhere Ströme (ab 2 A), ist zu beachten, daß sich der Laststrom mit zunehmender Erwärmung von T6 langsam erhöht („driftet"). Die Variable Last sollte bei höheren Strömen daher nicht im Dauerbetrieb (mehr als 15 Minuten) eingesetzt werden. Wer dies will, muß durch einen Wärmefühler mit nachgeschaltetem Stellglied dafür sorgen, daß die Temperaturdrift durch Gegensteuerung an der Basis von T5 auf ein Minimum reduziert wird.
Man kann dem Driften von T6 in begrenztem Umfange auch dadurch beikommen, daß man bereits bei Lastströmen ab 2 A mit einer zugeschalteten Hochlastkaskade arbeitet. Denn in dieser Kaskade fließt durch jeden Leistungstransistor nur noch ein Teilstrom, sodaß sich die Erwärmung ebenfalls reduziert. Bei der in *Bild 48* enthaltenen Dimensionierung (6 Leistungstransistoren auf einem entsprechend großen Hochleistungskühlkörper) entfallen bei einem Maximalstrom von 10 A auf jeden der Leistungstransistoren weniger als 1,8 A. Bei einem Laststrom von z.B. 4 A reduzierte sich dieser auf nur noch 700 mA. Bei diesem Strom erwärmen sich Leistungstransistoren des Typs 2N3055 auch ohne Kühlkörper nur mäßig, sodaß der Gesamtlaststrom nur noch einer geringen Temperaturdrift der Halbleiter ausgesetzt ist.
Im Zusammenhang mit dem Einsatz einer Hochleistungskaskade sei ab-

schließend darauf hingewiesen, daß der Mehrbereichsstrommesser M1 nur für einen Maximalstrom von 5A ausgelegt ist. Bei höheren Lastströmen ist entweder ein weiterer Meßbereich vorzusehen – dies erfordert eine weitere Schaltstellung bei S6 – oder das Meßwerk ist über einen Kurzschlußstecker parallel zu S6a/Ruhekontakt (zgl. Emitter von T6) und R17 vorübergehend stillzulegen.

Bild 55. Schaltung der Elektronischen Sicherung (Zusatzbaustein G), 1,5 V ... 30 V/4 mA ... 3,3 A.



Anmerkungen

*) nur erforderlich bei Einsatz des Bausteines als Konstantspannungsregler

**) R_N ist zuzuschalten bei Ergänzung einer Hochlastkaskade (Zusatzbaustein L), Werte gem. Tabelle 6

***) Stellungen von S5: a = 4mA ... 450mA (einstellbar mit P3)
b = 0,45 A
c = 2,0 A
d = 3,3 A

Die Elektronische Sicherung – zugleich ein Konstantspannungsregler

a. Schaltbildkurzbeschreibung

3.32 Immer dann, wenn Bausteine an dem Universal-Spannungslabor betrieben werden sollen, die gegen zu hohe Lastströme empfindlich sind – dies sind vor allem Versuchsschaltungsaufbauten, bei denen Bauelemente an der kritischen Grenze arbeiten – entsteht das Bedürfnis nach einer schnell schaltenden elektronischen Sicherung, deren Abschaltschwelle voreinstellbar ist. Wir wollen uns daher nun dem Aufbau eines derartigen Bausteines zuwenden. *Bild 55* enthält das Schaltbild; die Bauelemente können der Stückliste G entnommen werden.

Bei der Schaltung handelt es sich im Prinzip um einen klassisch aufgebauten Konstantspannungsregler mit dem integrierten Spannungsregler LM/µA723. Dieser Konstantspannungsregler ist in doppelter Ausführung (G1 und G2) vorgesehen; beide Bausteine werden in einem gemeinsamen Einschub untergebracht. Dieser Einschub stellt daher zunächst einmal zwei voneinander unabhängige stabilisierte Speisespannungen im Spannungsbereich 1,5 ... 30 V bereit. Die maximale Ausgangsspannung (bei Vollast) kann mit P1, die tatsächlich benötigte Speisespannung mit P2 eingestellt werden. Damit den Konstantspannungsreglern Lastströme bis zu 3 A entnommen werden können, sind sie mit einem externen Leistungstransistor in Darlingtonschaltung (T1 und T2) beschaltet. Über die Buchsen Bu40 ... 42 kann sogar eine Hochlastkaskade (vgl. *Bild 48)* zugeschaltet werden, wenn noch höhere Ausgangsströme erforderlich sind.

Die eigentliche Funktion der elektronischen Sicherung übernimmt die aus dem Schalter S5, den Widerständen R6 ... 8 und dem Potentiometer P3 bestehende Zusatzschaltung. Der Schalter S6 ist dabei so beschaltet, daß Ströme zwischen 4 und 450 mA kontinuierlich (mit P3) und Ströme zwischen 450 mA und 3,3 A stufenweise voreingestellt werden können. Genauer gesagt: Hier werden nicht die Lastströme selbst, sondern der Strombegrenzungseinsatz bei Erreichen eines bestimmten Laststromes voreingestellt. Als aktives Schaltelement, das die Strombegrenzung bewirkt, wird ein im LM/µA723 bereits enthaltener Schalttransistor herangezogen. *Bild 56* zeigt den entsprechenden Auszug aus der Innenschaltung der IS. Der Schalttransistor ist mit T_S bezeichnet. Die Kollektor/Emitterstrecke dieses Transistors wird niederohmig, sobald

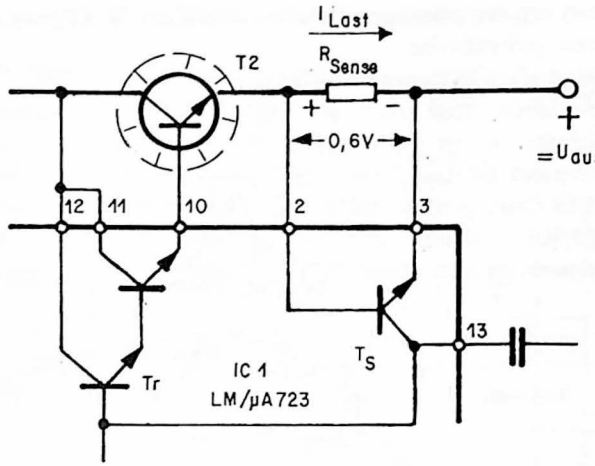


Bild 56. Strombegrenzung im IC LM/µA723.

an dem extern zugeschalteten Fühlerwiderstand R_{Sense} infolge des durch diesen Widerstand fließenden Laststromes eine Spannung von 0,6 V abfällt. Dadurch gelangt das an R_{Sense} stehende negative Potential an die Basis des Treibertransistors Tr und sperrt die Darlingtonstufe mit T2. Durch entsprechende Dimensionierung von R_{Sense} kann also auf einfache Weise erreicht werden, daß der Spannungsregler bei Überschreiten eines bestimmten Laststromes in den Sperrbetrieb übergeht und die Ausgangsspannung auf ungefährliche Werte zurückregelt (Foldback-Charakteristik). R_{Sense} wird im Schaltbild aus der Serienschaltung von P3 und R6 ... 8 gebildet. Der jeweils als Fühlerwiderstand wirksame Teil dieser Serienschaltung wird durch S5 abgegriffen. Für seine Dimensionierung gilt

$$R_{Sense} = \frac{0{,}6\ V}{I_{Last\ max\ A}} \quad (Ohm)$$

Nach dieser Formel sind die wichtigsten Werte für R_{Sense} in der nachfolgenden *Tabelle 6* zusammengestellt worden. Die für die Dimensionierung der Widerstände P3 und R6 ... 8 geltenden Werte sind in dieser Tabelle (Spalte e) besonders hervorgehoben. Dabei ist berücksichtigt,

daß sich die jeweiligen Teilwiderstände bei Betätigung von S5 addieren bzw. subtrahieren.
Wird die elektronische Sicherung mit zugeschalteter Hochlastkaskade betrieben, muß auch der Fühlerwiderstand entsprechend angepaßt werden. Er ist im Schaltbild gestrichelt angedeutet und mit R_N bezeichnet. Bei Lastströmen > 3 A muß sein Wert ausnahmslos größer als 0,18 Ohm gewählt werden, da er parallel zu der Serienschaltung aus P3/R6 ... 8 angeordnet wird (Bu43/44). Einzelwerte für seine Dimensionierung können dem unteren Teil der *Tabelle 6* entnommen werden.

Tabelle 6 Werte für den Fühlerwiderstand R_{Sense}

$I_{Last\ max}$	R_{Sense} errechnet	R_{Sense} Normreihe	Belastbarkeit (150 %)	Bemerkungen
a	b	c	d	e
10 mA	60 Ohm	68 Ohm	0,25 W	
50 mA	12 Ohm	12 Ohm	0,25 W	S5, Stellg. a
100 mA	6 Ohm	6,8 Ohm	0,25 W	
250 mA	2,4 Ohm	2,2 Ohm	0,5 W	
500 mA	1,2 Ohm	1,2 Ohm	0,5 W	S5, Stellg. b
1,0 A	0,6 Ohm	0,68 Ohm	1,0 W	
1,5 A	0,4 Ohm	0,39 Ohm	2,0 W	
2,0 A	0,3 Ohm	0,27 Ohm	2,0 W	S5, Stellg. c
2,5 A	0,24 Ohm	0,22 Ohm	5,0 W	
3,0 A	0,2 Ohm	0,18 Ohm	5,0 W	S5, Stellg. d
4,0 A	0,15 Ohm	Serie aus 0,12 Ohm, 0,027 Ohm	5,0 W	
5,0 A	0,12 Ohm	0,12 Ohm	5,0 W	
6,0 A	0,1 Ohm	0,1 Ohm	5,0 W	bei Einsatz
7,0 A	0,085 Ohm	0,086 Ohm	10,0 W	einer Hochlast-
8,0 A	0,075 Ohm	Serie aus 0,056 Ohm, 0,018 Ohm	10,0 W	kaskade
9,0 A	0,066 Ohm	0,068 Ohm	10,0 W	

b. Hinweise für den Aufbau und die Funktionsüberprüfung

3.33 Für den Aufbau der beiden Elektronischen Sicherungen G1 und G2 in einem Einschub gelten folgende Grundlagen:

- Leereinschub 1 Stück, Einbaubreite 120 mm
- Frontplattenauslegung gemäß Bild 57

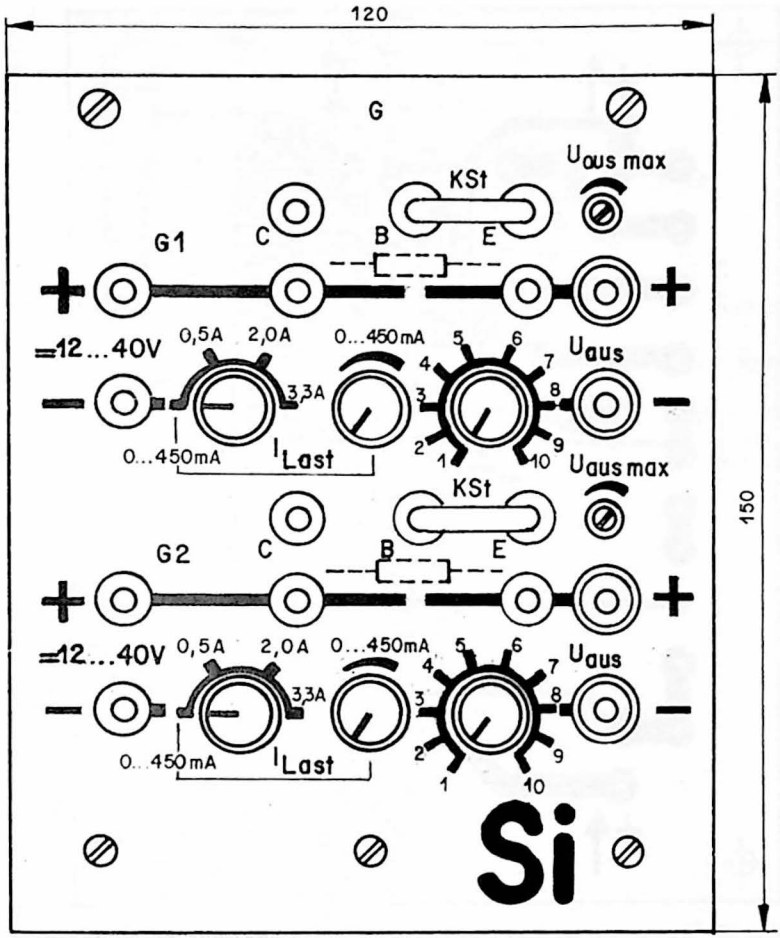


Bild 57. Frontplattenauslegung der Elektronischen Sicherung G.

- Leiterplattenbestückung und -auslegung — 2 Stück gemäß Bild 58 und 59
- Anordnung der Bauelemente im Einschub — gemäß Bild 60

(weiter S. 126)

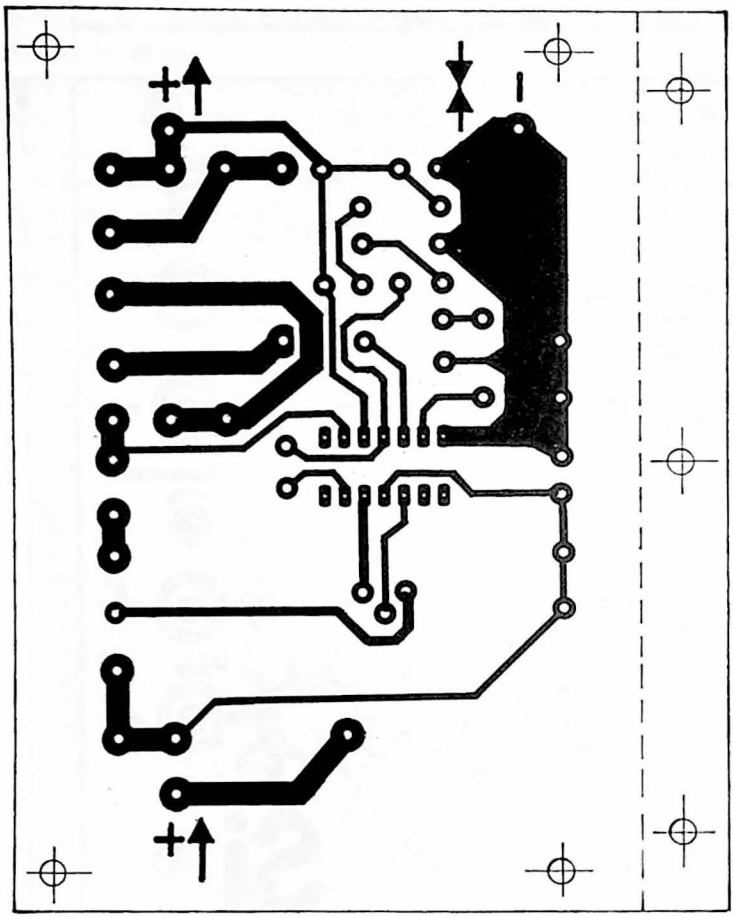


Bild 58. Platinenauslegung für die Elektronische Sicherung G, Ansicht von der Lötseite (Maßstab 1:1).

Stückliste G* Elektronische Sicherungen, Zusatzbausteine G1, G2

Widerstände

1 Stück	R5	1K
1 Stück	R6	1 Ohm/1 W

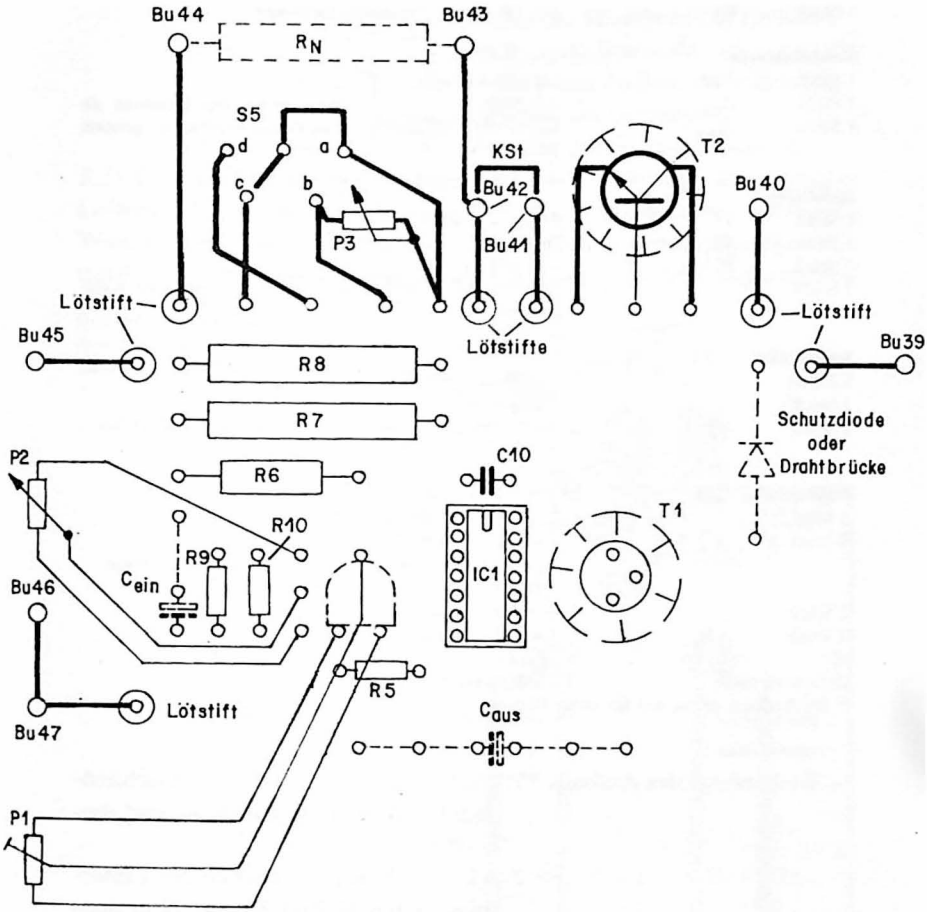


Bild 59. Bestückungsplan und Anschlußschema der Elektronischen Sicherung G.

1 Stück	R7	Hochlastwiderstand 0,12 Ohm/5 W
1 Stück	R8	Hochlastwiderstand 0,18 Ohm/5 W
1 Stück	R9	820 Ohm
1 Stück	R10	560 Ohm
1 Stück	P1	10K, linear, Trimmer mit Schraubenzieherantrieb
1 Stück	P2	2K2, linear Poti

1 Stück	P3	200 Ohm/5 W Drahtpotentiometer	

Kondensatoren

1 Stück	C10	100 pF, Keramik	(nur wenn der Baustein als Spannungskonstanter genutzt wird)
1 Stück	C_{ein}	47 µF/50 V	
1 Stück	C_{aus}	4,7 µF/50 V (Tantal)	

Halbleiter

1 Stück	T1	BC140 o.ä. NPN-Typ
1 Stück	T2	2N3055
1 Stück	IC1	LM/µA723
1 Stück		Schutzdiode, Laststrom ≥ 3 A ohne zusätzliche Kühlmaßnahmen

Spezialteile

1 Stück		Hochleistungskühlkörper 1,5 . . .2,5 K/W
1 Stück		Kühlstern
1 Stück	S5	Stufenschalter 1 Ebene, 4 Schaltstellungen, Kontaktbelastung 5 . . .100 W

Mechanische Teile

1 Stück		Leiterplatte gemäß Bild 58
9 Stück		Buchse, vollisoliert, Innen Ø 4 mm, je 3 rot, 3 gelb, 2 schwarz, 1 blau (davon 1 rot, 1 schwarz als Apparateklemmen)
2 Stück		Skalenknopf mit Anzeigemarke
1 Stück	KSt	Kurzschlußstecker
div.		Lötnägel
div.		Steckhülsen zu Lötnägeln

* Stückzahlen gelten nur für einen Baustein

– Reihenfolge des Aufbaus

1. Aufbau des Leereinschubes einschließlich Frontplattenbeschriftung und -bestückung
2. Herstellen und Bestücken der Leiterplatten gemäß Bild 58 und 59 in doppelter Ausfertigung; die Hochleistungskühlkörper mit T2 werden über Abstandsrollen (5 mm lang) mit, den Leiterplatten verschraubt.
3. Probeaufbau mit Hilfe der in Bild 19 dargestellten Montagehilfe und externe Funktionsüberprüfung der beiden Moduln

4. Einbau der Moduln in den Einschub
5. Verdrahtungskontrolle vor der abschließenden Funktionsüberprüfung
6. Funktionsüberprüfung
7. Einbau in den Gehäuserahmen 1

3.34 Der Aufbau der beiden Sicherungsmoduln ist durch die gedruckte Leiterplatte weitgehend vorgegeben. Er ist insgesamt unkritisch. Werden die Moduln G1 und G2 auch als Konstantspannungsregler benutzt, sind ein- und ausgangsseitig die im Schaltbild angegebenen

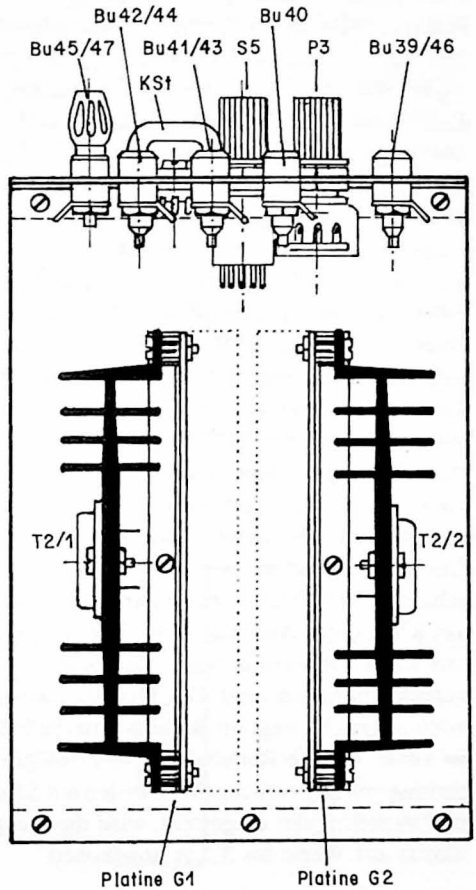


Bild 60. Montageanhalt für den Einschub Elektronische Sicherung (Maßstab 1:2).

Elektrolytkondensatoren vorzusehen. Die Leiterplatte ist für ihre Aufnahme ausgelegt. Wie *Bild 57* zeigt, sind die für die Einstellung der Ausgangsspannung erforderlichen Regler P1 (Trimmer mit Schraubenzieherantrieb oberhalb der Plus-Ausgangsbuchse) und P2 (Regler U_{aus}) von der Frontplatte her zugänglich.

Zur externen Funktionsüberprüfung der Leiterplatten sind alle Bedienelemente anzuschließen und provisorisch zu montieren (unter Rückgriff auf die Montagehilfe in *Bild 19)*. Wird dann eine Gleichspannung an die Buchsen Bu39/46 angelegt, muß sich die Ausgangsspannung mit P2 kontinuierlich regeln lassen. Wird P1 so eingestellt, daß die Ausgangsspannung maximal 32 V erreicht, überstreicht P2 einen Regelbereich von 1,5 ... 32 V. In diesem Bereich ist die Ausgangsgleichspannung auch bei Vollast außerordentlich stabil. Der endgültige Abgleich von P1 wird nach Einbau der Moduln in den Einschub vorgenommen. Zur Überprüfung der Strombegrenzungsautomatik wird S5 in Stellung a gebracht und jedes der beiden Moduln mit der Variablen Last zusammengeschaltet (vgl. *Bild 54a)*. Der Regler I_{Grenz} wird in Stellung 15 V gebracht, der Laststrom zunächst auf Null gestellt. An die Eingangsbuchsen (Bu39/40) wird nun eine 15 V-Gleichspannung gelegt. Die Spannung am Ausgang (Bu45/47) wird gemessen und mit P2 auf 12 V eingestellt. Der Gleichspannungsmesser bleibt während der weiteren Funktionsüberprüfung angeschlossen. Wird jetzt der Laststrom (Regler I_{Last} der Variablen Last) langsam erhöht, hat dies zunächst keinerlei Auswirkungen auf die Ausgangsspannung. Erst bei einem Laststrom von etwa 450 mA geht sie zunächst langsam und dann schlagartig auf einen Restwert von 1 – 2 V zurück – sicheres Zeichen dafür, daß die Strombegrenzungsautomatik ordnungsgemäß abschaltet. Sollte die Abschaltung schon bei geringerem Laststrom erfolgen, liegt dies an der Einstellung von P3. Die Abschaltung bei 450 mA erfolgt nur dann, wenn der Schleifer dieses Reglers am R6-seitigen Anschlag steht. Die Ansprechschwelle liegt bei geringeren Laststromwerten, wenn der Schleifer von P3 in Richtung Bu43 zurückgenommen wird. Der kleinste Laststrom, bei dem die Sicherung noch anspricht, liegt im Bereich unterhalb 10 mA. Bei Werten < 4 mA ist keine weitere Reduzierung mehr möglich, weil dann auch die Ausgangsspannung zurückgeht. Werden mit S5 nun die Schalterstellungen b, c, d nacheinander eingestellt, wird die Ansprechschwelle über 450 mA hinaus auf Werte bis 3,3 A angehoben.

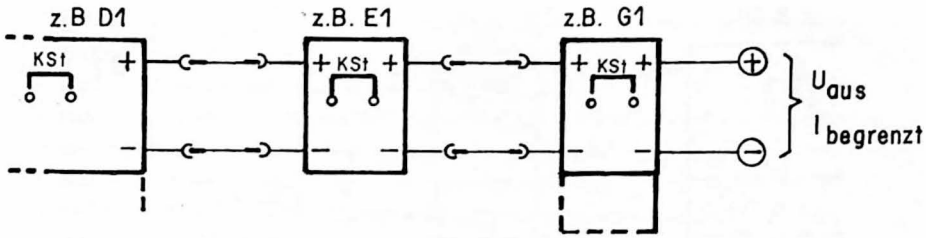


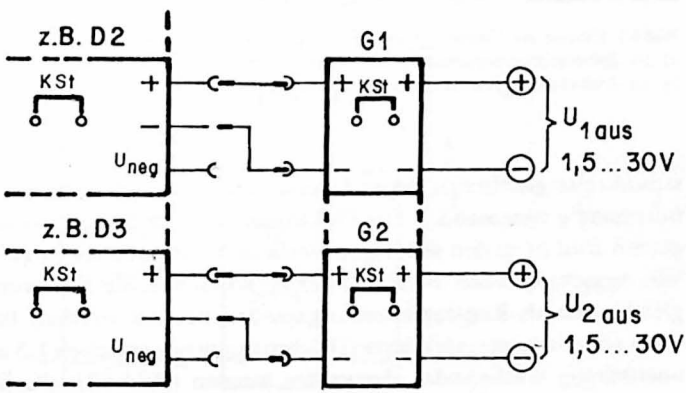
Bild 61. Normaleinsatz der Elektronischen Sicherung.

Arbeiten die beiden Sicherungsmoduln ordnungsgemäß, können sie in den Einschub eingebaut und dieser endgültig verdrahtet werden. Die Verdrahtungskontrolle vor der Funktionsüberprüfung des fertig aufgebauten Einschubes muß mit besonderer Sorgfalt durchgeführt werden – insbesondere was den Anschluß von S5 anbelangt. Die abschließende Funktionsüberprüfung ist entsprechend dem obenstehenden Verfahrensgang durchzuführen; dann kann auch dieser Einschub gebrauchsfertig in den Gehäuserahmen 1 eingebaut werden.

c. Anwendungsbeispiele für die Elektronische Sicherung

3.35 Der Hauptanwendungszweck der Elektronischen Sicherung liegt auf dem Gebiete der Absicherung von Verbraucherstromkreisen gegen zu hohe Lastströme. Mit dem Einschub G können zwei Verbraucher-

Bild 62. Einsatz der Elektronischen Sicherungen als voneinander unabhängige Konstantspannungsregler.



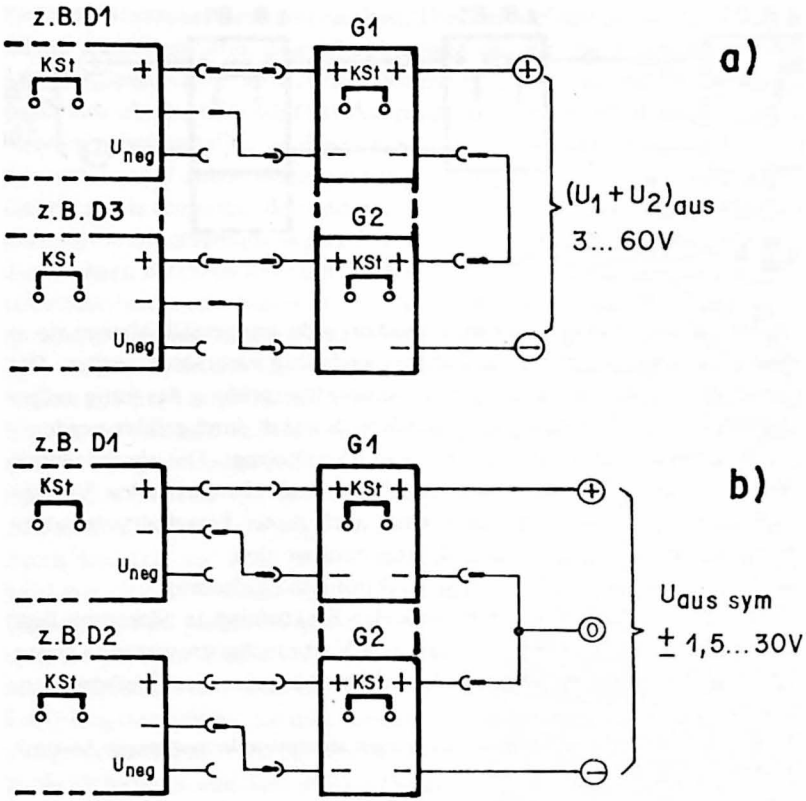
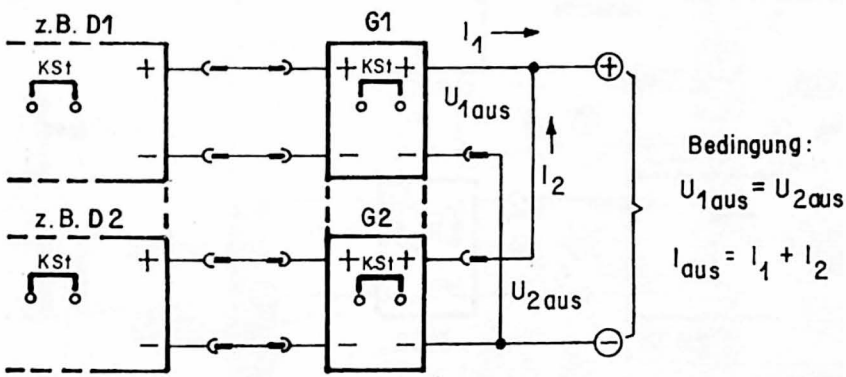


Bild 63. Einsatz der Elektronischen Sicherung als Konstantspannungsregler
a) zur Spannungsverdoppelung
b) zur Aufbereitung symmetrischer Ausgangsspannungen

stromkreise gleichzeitig gegen Überströme geschützt werden, und zwar unabhängig voneinander. Die Elektronischen Sicherungen werden dazu gemäß *Bild 61* in den jeweiligen Verbraucherstromkreis eingefügt.
Wie verschiedentlich bereits erwähnt, können beide Sicherungen zugleich auch als Konstantspannungsquellen benutzt werden. In diesem Falle können zwei stabilisierte Gleichspannungen zwischen 1,5 und 30 V unabhängig voneinander abgegriffen werden *(Bild 62);* die Strombe-

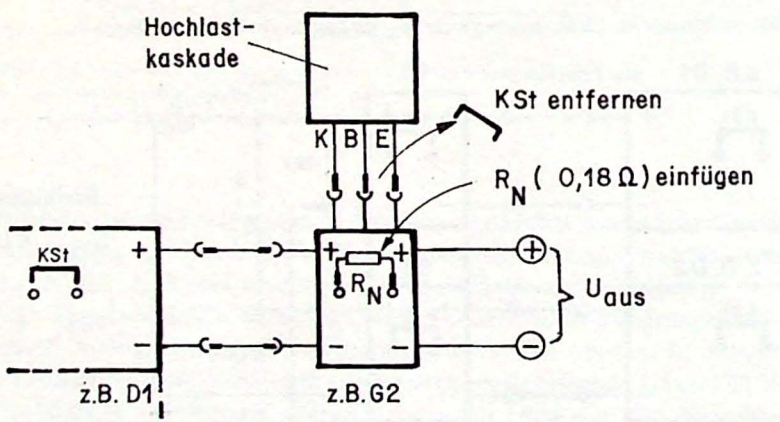
grenzung liegt dann automatisch mit in den beiden Verbraucherstromkreisen und kann nach Bedarf eingestellt werden.
Zur Erhöhung der Ausgangsgleichspannung können die beiden Sicherungen G1 und G2 jedoch auch in Serie geschaltet werden *(Bild 63a)*. Die maximal abgreifbare Ausgangsspannung liegt dann bei 60 V. Bei dieser Schaltungsweise reicht es, wenn nur eine Überstromsicherung zur Absicherung des Verbraucherstromkreises herangezogen wird. Sie wird auf die entsprechende Ansprechschwelle vorprogrammiert. Die andere Überstromsicherung wird auf die nächsthöhere Ansprechschwelle eingestellt.
Eine sehr wichtige Betriebsart ist in *Bild 63b* abgebildet. Die beiden Moduln G1 und G2 sind in diesem Falle wie zur Spannungsverdopplung geschaltet; nutzt man jedoch die ausgangsseitige Brücke als Nulleiter, läßt sich auf einfache Weise ohne symmetrische Speisespannung abgreifen, deren positiver und negativer Wert unabhängig voneinander auf Werte zwischen 1,5 und 30 V eingestellt werden können. Vorteilhaft ist dabei insbesondere, daß die beiden Teilspannungen nicht unbedingt denselben Betrag aufweisen müssen. Mit dieser Schaltung können also einerseits genau symmetrische Speisespannungen (z.B. für die Betriebsspannungsversorgung von Schaltungen mit Operationsverstärkern), andererseits eine positive Speisespannung und eine im Wert abweichende negative Hilfsspannung hoher Stabilität aufbereitet werden.

Bild 64. Einsatz der Elektronischen Sicherung zur Laststromvergrößerung bis 6,6 A.



Sollen mit den Sicherungsmoduln auch einmal über 3,3 A hinausgehende Lastströme kontrolliert werden, kann man sie auch ganz einfach parallelschalten *(Bild 64)*.
Bei dieser Betriebsart muß jedoch sichergestellt werden, daß die Ausgangsspannung beider Moduln gleich groß ist. Außerdem sei darauf hingewiesen, daß sich die Ansprechwerte der Überstromsicherungen verschieben. Ist bei beiden Sicherungen beispielsweise ein Laststrom von 2 A eingestellt, beträgt der tatsächliche Laststrom mit Erreichen des Abschaltpunktes 4 A. Der maximal einstellbare Laststrom beträgt 6,6 A. Wenn auch dieser Laststrom für bestimmte Anwendungsfälle noch zu gering ist (z.B. für die Spannungsversorgung einer Heimfunkanlage), kann jedes der beiden Sicherungsmoduln mit einer Hochlastkaskade gemäß *Bild 48* betrieben werden. Die Kaskade wird an die Buchsen Bu40, 41 und 42 angeschlossen, nachdem der Kurzschlußstecker entfernt worden ist *(Bild 65)*. Außerdem muß der Fühlerwiderstand R_N eingefügt werden, seine Bemessung richtet sich nach *Tabelle 6*, unterer Teil.
3.36 Mit diesen Anwendungsbeispielen haben wir zugleich jenen Punkt erreicht, an dem der erste Teil des Universal-Spannungslabors fertiggestellt ist; äußerlich daran erkennbar, daß der Gehäuserahmen 1 vollständig mit Einschüben besetzt ist. Dadurch, daß der Baustein G sowohl als Elektronische Sicherung wie auch als Konstantspannungsquelle

Bild 65. Zuschaltung einer Hochlastkaskade gemäß Bild 48.



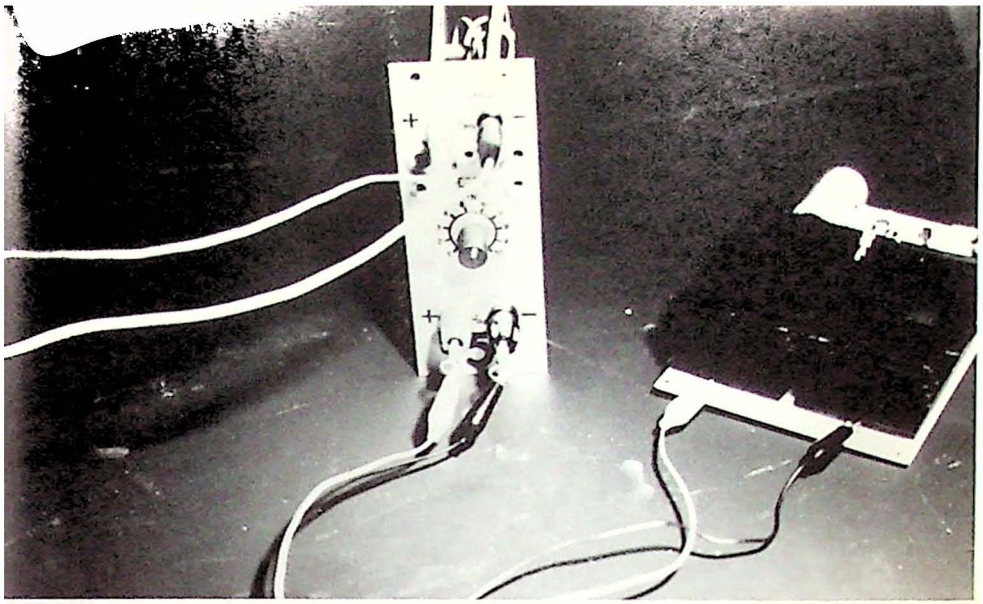
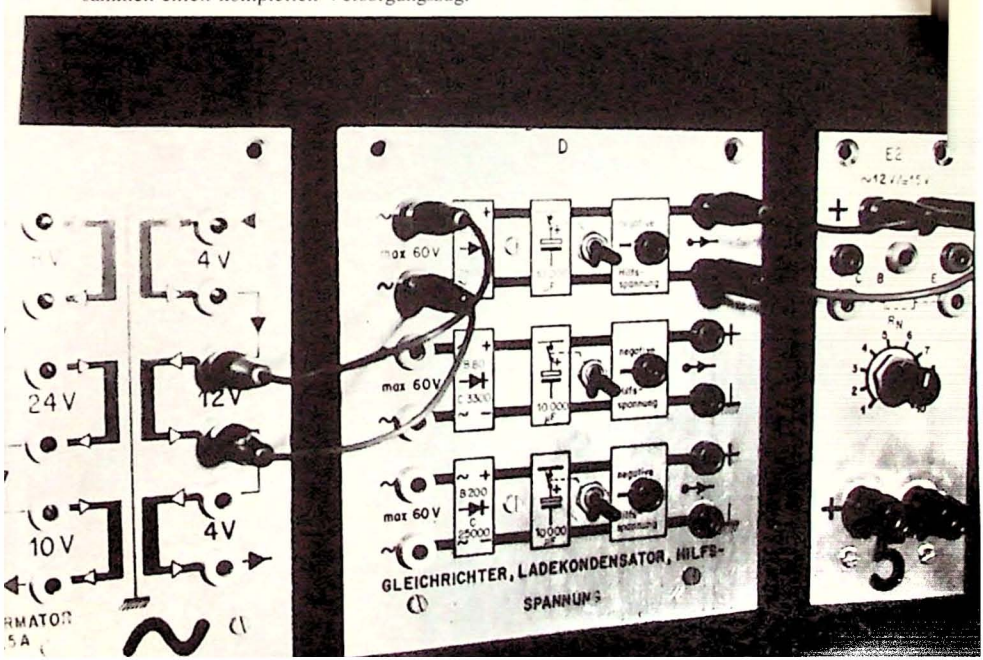


Bild 9. Der E2 mit angeschlossenem Verbraucher.

Tafel 5

Bild 10. Transformator, Gleichrichter- und Konstantspannungsreglereinschub ergeben zusammen einen kompletten Versorgungszug.



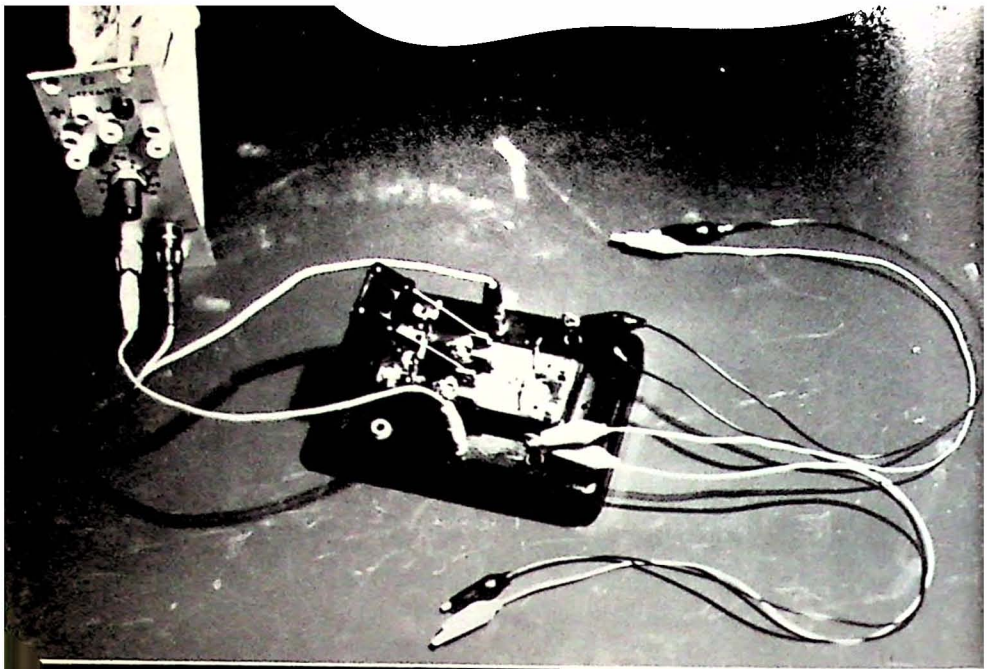


Bild 11. Dies ist ein Hebelschalter zur Verteilung einer Versorgungsspannung an mehrere Verbraucher.

Tafel 6

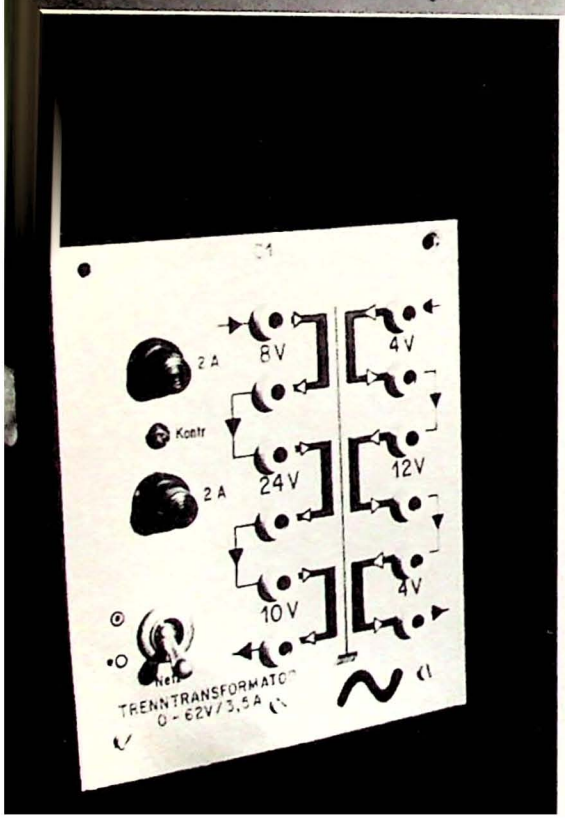


Bild 12. Saubere Beschriftung schützt vor Irrtümern: der Transformatoreinschub.

eingesetzt werden kann, steht von dieser Aufbaustufe an bereits ein Labornetzgerät zur Verfügung, das recht vielseitige Einsatzmöglichkeiten bietet. Für denjenigen, der erst am Anfang seines Elektronik-Hobbys steht, wird das Gerät daher zweifelsohne bereits in dieser Aufbaustufe zu einem wertvollen Baustein für den Grundstock seiner Laborausstattung werden – zumal es späterhin ja nicht durch ein vollkommen neues Gerät ersetzt zu werden braucht, sondern mit dem Teil des Schaltfeldes, der im Gehäuserahmen 2 untergebracht ist, oder mit selbstentwickelten Einschüben ergänzt werden kann. Der versierte Hobbyelektroniker wird demgegenüber gerade die Bausteine des Gehäuserahmens 2 als wesentliche Erleichterung für die Laborpraxis empfinden und deshalb sicherlich nicht vor einer Fortsetzung des Nachbaus zurückschrecken.
Der Aufbau dieser Einschübe dürfte weit weniger Aufwand erfordern als das bei den Baugruppen des Gehäuserahmens 1 der Fall war. Denn zum einen ist der Gehäuserahmen 2 einfacher gehalten, weil in ihn weder ein Netzspannungshauptschalter noch ein Netzspannungsverteiler eingebaut werden muß. Zum anderen dürften sich durch den Nachbau der Einschübe C, D, G und H bereits so viele praktische Erfahrungen ergeben haben, daß man beim weiteren Vorgehen mit mehr Routine an die Arbeit gehen kann. Darüberhinaus ist mittlerweile sicherlich auch das eine oder andere Werkzeug beschafft worden, um sich die Arbeit im Detail zu erleichtern – also Gründe genug, um mit der Bauanleitung für die Konstantspannungsregler E1 und E2 sofort wieder in die Praxis einzusteigen.

4. Der Aufbau der Einschübe für den Gehäuserahmen 2

Die Konstantspannungsregler E1 und E2

a. Der integrierte Spannungsregler LM/μA723

3.37 Mit den Konstantspannungsreglern E1 und E2 wollen wir die wohl wichtigsten, weil im Laborbetrieb am meisten benutzten Bausteine des Universal-Spannungslabors in Angriff nehmen. Auch bei diesen Reglern wird der bereits in der Schaltung der Elektronischen Sicherung einge-

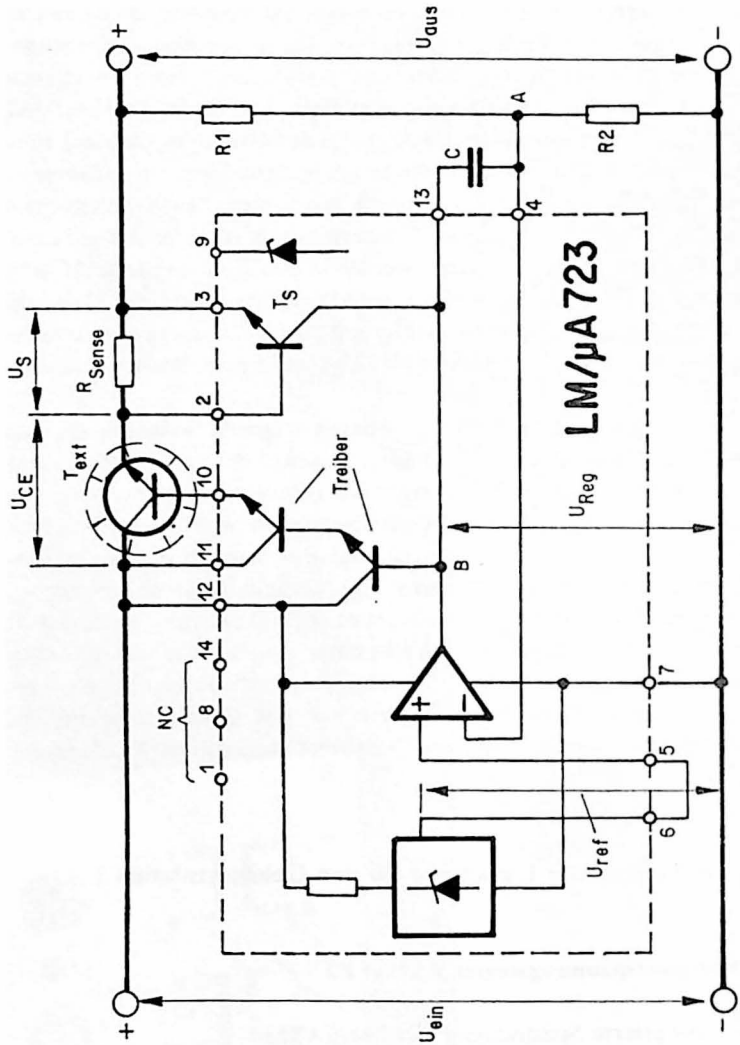


Bild 66. Anschlußbelegung und externe Grundbeschaltung des integrierten Spannungsreglers LM/µA723 (DIL14).

setzte integrierte Spannungsregler LM/μA723 als zentraler Baustein verwendet. Mit nur wenigen externen Bauelementen läßt er sich so beschalten, daß sich

- im Falle des Reglers E1 eine Konstantspannungsquelle für stabilisierte Speisespannungen zwischen 7,5 und 37 V und
- im Falle des Reglers E2 eine Konstantspannungsquelle für den Spannungsbereich zwischen 1,5 und 5,5 V

ergibt. Während sich der Baustein E1 damit für diverse Anwendungen im Niedervoltbereich bis knapp 40 V eignet, ist der Regler E2 vorwiegend für die Spannungsversorgung von TTL-bestückten Schaltungen oder MOS-Bausteinen im 3- bis 5 V-Bereich vorgesehen.

3.38 Der integrierte Spannungsregler LM/μA723 ist ein weit verbreiteter, von allen namhaften Herstellern angebotener Baustein. Die Exemplare aller Hersteller sind PIN-kompatibel,[8] so daß die Leiterplattenauslegung unabhängig vom Fabrikat erfolgen kann. Im Universal-Spannungslabor wird ausschließlich die DIL-14-Version des Reglers eingesetzt. Die Innenschaltung und Anschlußbelegung gehen aus *Bild 66* hervor.

Der Einsatz des LM/μA723 ist nicht zuletzt deshalb lohnend, weil er zum Teil bereits für einen Stückpreis von weniger als einer Mark im Einzelhandel erhältlich und dort stets vorrätig ist. Er liegt damit wesentlich unter dem Stückpreis des ansonsten im gleichen Spannungsbereich arbeitenden LM317t, der noch nicht unter fünf Mark zu haben ist. Sollte der LM/μA723 daher während des Betriebes ausfallen, ist Ersatz somit kein Problem und leicht erschwinglich. Der Austausch ist ebensowenig schwierig, wenn die Leiterplatten mit IS-Fassungen (DIL 14) bestückt werden.

3.39 Schauen wir uns die Innenschaltung der IS einmal näher an. Wie *Bild 66* zeigt, handelt es sich bei dem 723 um einen klassisch aufgebauten Konstantspannungsregler mit sogenannter Rückwärtsregelung. Von Rückwärtsregelung spricht man immer dann, wenn die für die Ausregelung von Speisespannungsschwankungen erforderliche Stellgröße (U_{Reg}) über einen Meßfühler am Ausgang des Reglers gewonnen und auf die „weiter rückwärts" angeordneten Schaltglieder (Operationsverstärker und Darlingtonstufe aus Treibern und T_{ext}) zurückgekoppelt

[8] PIN-kompatibel heißt, daß die Anschlußbelegung von Reglern unterschiedlicher Fabrikate und Typenbezeichnung immer gleich ist.

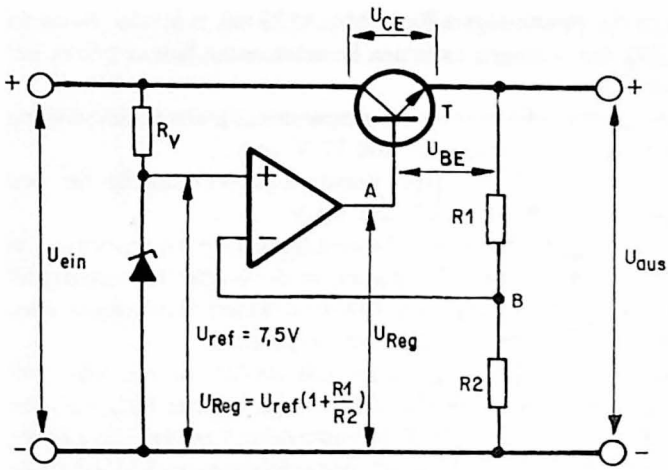


Bild 67. Prinzipschaltbild zur Berechnung der Ausgangsspannung des IC LM/μA723 bei Beschaltung mit einem Ausgangsspannungsteiler (R1/R2).

wird. In *Bild 67* ist dies an Hand einer Prinzipschaltung deutlicher hervorgehoben. Als Meßfühler dient der (im Falle des 723 immer extern zugeschaltete) Spannungsteiler aus den Widerständen R1 und R2. Die am Punkt B dieses Spannungsteilers als Folge von Speisespannungsschwankungen[9]) auftretenden Potentialänderungen werden abgegriffen und auf den invertierenden Eingang des Operationsverstärkers gegeben. Dieser verändert hierdurch seine Gleichspannungsverstärkung im Takte der Potentialschwankungen und dies so, daß ein Ausgangsspannungsanstieg zu einer Verringerung und ein Ausgangsspannungsabfall zu einer Erhöhung des Steuerstromes für den als Stellglied fungierenden Längsregeltransistor T führt. Da sich dieser Vorgang aber fortlaufend und praktisch trägheitslos vollzieht, stellt sich die Ausgangsspannung auf einen konstanten Wert ein; sie gilt damit als stabilisiert.

Für die Höhe der Ausgangsspannung U_{aus} besteht nun ein recht einfacher Zusammenhang. Maßgeblich ist die Referenzspannung U_{ref}. Sie ergibt multipliziert mit der Spannungsverstärkung des Operationsverstärkers zunächst die Regelspannung U_{Reg}. Im Falle des 723 mit einer

[9] Die Speisespannungsschwankungen entstehen einmal durch Schwankungen der Netzspannung, zum anderen jedoch auch durch Laständerungen im Verbraucherstromkreis.

Referenzspannung von 7,15 V würde die Regelspannung ca. 15 V bei einer Spannungsverstärkung von 2, ca. 22 V bei einer Spannungsverstärkung von 3 betragen. Und da die Spannungsverstärkung eines Operationsverstärkers nicht kleiner als 1 werden kann, kann U_{Reg} damit allenfalls auf 7,15 V zurückgehen. Die Ausgangsspannung wäre nun gleich der Regelspannung, wenn nicht an dem Längstransistor ein Betrag von 0,6 V als Basis/Emitterspannung (U_{BE}) abfiele. Für die Ausgangsspannung kann daher die rechnerische Beziehung

$U_{aus} = U_{Reg} - 0{,}6$ V (Näherungswert)

zugrundegelegt werden. Da die Spannungsverstärkung eines Operationsverstärkers theoretisch unendlich groß werden könnte (nämlich dann, wenn der invertierende Eingang auf Minuspotential liegt[10]), würde auch die Ausgangsspannung unendlich große Werte annehmen. In der Praxis ist das jedoch nicht möglich, weil hier ja nur eine endliche Eingangsspannung zur Verfügung steht. Die Ausgangsspannung kann allenfalls bis zu deren Höhe ansteigen. Da nun aber die Kollektor/Emitterspannung (U_{CE}) des Längsregeltransistors T für einen ordnungsgemäßen Betrieb mit mindestens 3 V gewährleistet sein sollte, kann die Ausgangsspannung nur den um 3 V verringerten Wert der Eingangsspannung annehmen. Dieser beträgt beim 723 maximal 40 V; die Ausgangsspannungen des Konstantspannungsreglers liegen daher zwischen 7,0 und 37 V. Die nachfolgend beschriebene Schaltung des Konstantspannungsreglers E1 entspricht dieser Dimensionierung; dazu ist, um die Ausgangsspannung mit der Hand voreinstellen zu können, der Ausgangsspannungsteiler mit einem Potentiometer ergänzt.

[10] Es gilt folgende rechnerische Beziehung

$$U_{Reg} = U_{ref} \left(1 + \frac{R1}{R2}\right)$$

(hierbei ist $1 + \frac{R1}{R2}$ die Spannungsverstärkung des Operationsverstärkers)

Wird für R2 ein Wert von 0 angenommen (Punkt B liegt dann an Minuspotential), ergibt sich

$$U_{Reg} = U_{ref} \left(1 + \frac{R1}{0}\right) = 7{,}5 \text{ V } (1 + \infty) = \infty$$

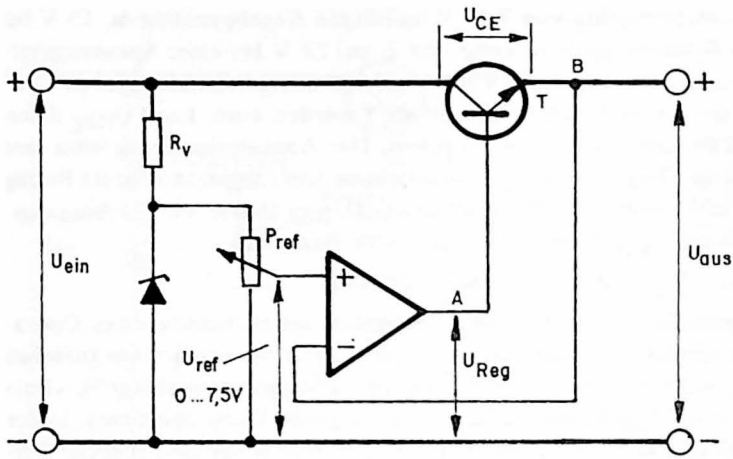


Bild 68. Prinzipschaltbild zur Berechnung der Ausgangsspannung des IC LM/μA723 bei einer Spannungsverstärkung von 1 und Beschaltung mit einem Referenzspannungsteiler.

Um nun auch Ausgangsspannungen < 7,0 V mit dem 723 realisieren zu können, kann die Referenzspannung der IS ihrerseits mit einem Spannungsteiler heruntergeteilt werden. *Bild 68* zeigt das entsprechende Prinzipschaltbild. Den Spannungsteiler bildet P_{ref}. Die Ausgangsspannung läßt sich mit dieser Anordnung theoretisch bis auf Null Volt zurückregeln.[11] Wegen seiner Innenschaltung ist dies beim 723 jedoch nicht möglich. Die kleinste einstellbare Ausgangsspannung liegt hier bei 1,2 V. Wird, wie in *Bild 68* ebenfalls dargestellt, die Spannungsverstärkung des Operationsverstärkers auf 1 eingestellt (invertierender Eingang des Operationsverstärkers liegt an Pluspotential, damit gilt praktisch für den Spannungsteiler: R1 = 0, R2 = ∞), kann die Ausgangsspannung nur noch bis auf etwa 7 V hochgeregelt werden. Der Regelbereich dieser Schaltung bewegt sich somit zwischen etwa 1,2 und 7 V. Das in *Bild 68* dargestellte Schaltungsprinzip liegt daher dem Konstantspannungsregler E2 zugrunde.

Der Spannungsregler 723 zeichnet sich schließlich durch einen weiten

[11] Es gibt Operationsverstärker, bei denen die Ausgangsspannung auch praktisch auf Null zurückgeregelt werden kann; ein Beispiel ist der LM324. Er ist deshalb als Nullspannungsnachsetzer in Bild 47 enthalten.

Speisespannungsbereich aus. Er arbeitet mit hoher Stabilität bei Betriebsspannungen zwischen 9,5 und 40 V. Dadurch ist es möglich, im praktischen Betrieb eine Anpassung zwischen Ein- und tatsächlich abgegriffener Ausgangsspannung vorzunehmen. Dies wirkt sich besonders vorteilhaft auf die Kühlung des Längsregeltransistors bei höheren Lastströmen aus. An diesem Transistor fällt bekanntlich die Spannungsdifferenz zwischen Ein- und Ausgangsspannung ab und verursacht in Verbindung mit dem jeweils fließenden Laststrom u.U. eine erhebliche Verlustleistung, die in Wärme umgesetzt wird. Je kleiner daher die an dem Längsregeltransistor abfallende Spannungsdifferenz gehalten werden kann (sie darf jedoch 3 V nicht unterschreiten), desto geringer ist der Kühlaufwand für den Regeltransistor. Für den Betrieb der Konstantspannungsregler E1 und E2 heißt dies praktisch:
Die Eingangsspannung für E1 soll grundsätzlich nicht mehr als 5 V über der abgegriffenen Ausgangsspannung liegen. Der Regler E2 wird dagegen grundsätzlich an einer 15 V-Eingangsspannung betrieben, die aus einer 12 V-Sekundärwechselspannung gewonnen wird.
Wenden wir uns daher nun den Schaltbildern dieser Regler im einzelnen zu.

b1. Schaltbildkurzbeschreibungen für E1

3.40 Die für den Konstantspannungsregler E1 entwickelte Schaltung lehnt sich eng an die in *Bild 67* enthaltene Prinzipdarstellung an. Sie ist in *Bild 69* im einzelnen ausgeführt. In diesem Schaltbild bilden R21, P11 und R22 den Spannungsteiler, durch den die Spannungsverstärkung des in IS3 enthaltenen Operationsverstärkers zwischen 1,3 (positiver Anschlag von P11) und etwa 6 (negativer Anschlag von P11) verändert werden kann. Die Ausgangsspannung ließe sich somit theoretisch zwischen 8 und 41,7 V einstellen. In der Praxis soll sie jedoch 37 V nicht überschreiten. Die maximale Ausgangsspannung läßt sich genau auf 37 V einregeln, wenn R22 als 1 K-Regler ausgebildet und auf etwa 650 Ohm eingestellt wird; die Spannungsverstärkung beträgt dann etwa 5. Die Leiterplatte ist entsprechend vorbereitet. Wird es bei einem Festwiderstand belassen, stellt sich (je nach dem verwendeten Exemplar für IS3) u.U. eine bis nahe 40 V regelbare Ausgangsspannung ein. Die Stabilität nimmt jedoch im Bereich zwischen 36 und 40 V dann spürbar ab.
Durch die Schaltbrücke zwischen Pin 5 und 6 wird erreicht, daß die Referenzspannung mit ihrem eingeprägten Wert von etwa 7,15 V (der

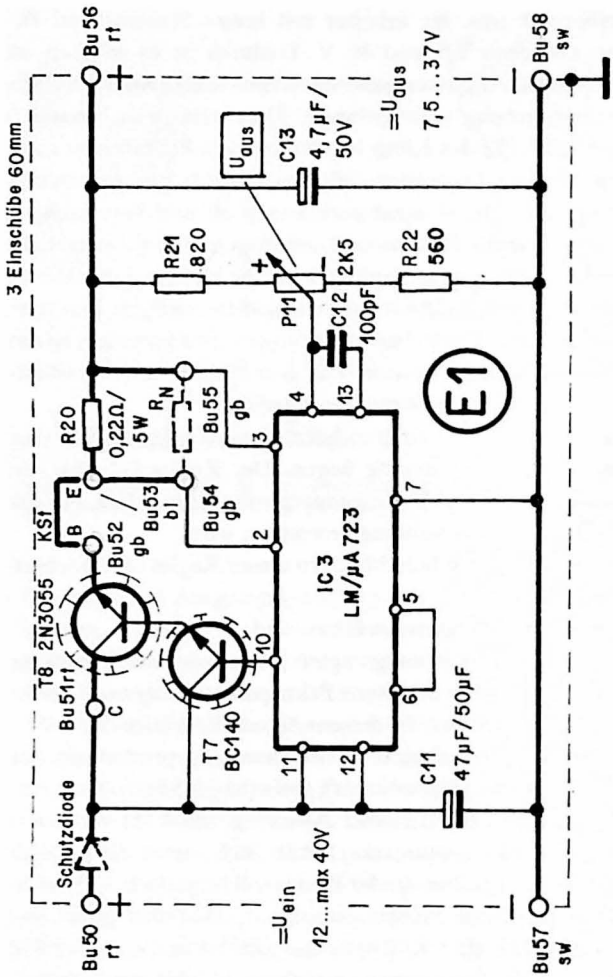


Bild 69. Schaltung des Konstantspannungsreglers 7,5 . . .37 V/2,5 A (Zusatzbaustein E1).

genaue Wert unterliegt einer gewissen Exemplarstreuung) am nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers liegt. Um mit dem Spannungsregler Lastströme bis zu 3 A realisieren zu können, wird der

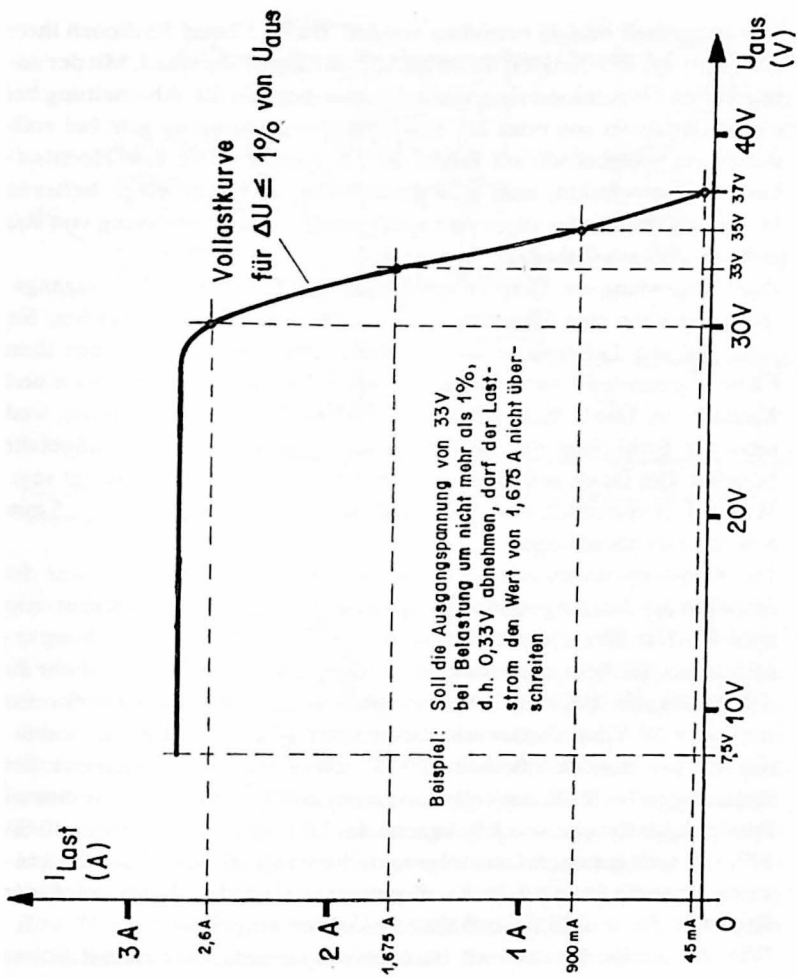


Bild 70. Belastbarkeit der Ausgangsgleichspannung des Konstantspannungsreglers E1 unter der Bedingung, daß U_{aus} bei Vollast um höchstens 1 % abnimmt.

externe Leistungstransistor T8 in Darlingtonschaltung mit einem BC140 (T7) betrieben. Sollen über 3 A hinausgehende Ströme entnommen werden, kann auch der Konstantspannungsregler E1 mit einer Hochlast-

kaskade gemäß *Bild 48* betrieben werden. Bu51, 52 und 53 dienen ihrer Anschaltung. R20 fungiert als Strombegrenzungswiderstand. Mit der angegebenen Dimensionierung von 0,22 Ohm beginnt die Abschaltung bei einem Laststrom von etwa 2,5 A; die Ausgangsspannung geht bei vollständigem Sperrbetrieb auf Werte um 2 V zurück. Wird eine Hochlastkaskade zugeschaltet, muß R20 durch Parallelschalten eines weiteren Hochlastwiderstandes (R_N) verringert werden. Die Bemessung von R_N richtet sich nach *Tabelle 6*, unterer Teil.

Zur Vermeidung von Verpolungsfehlern beim Einspeisen der Eingangsspannung kann eine Schutzdiode in die Plusleitung gelegt werden. Sie kann auf der Leiterplatte untergebracht oder zur Kühlung mit dem Chassis verschraubt werden (dabei ist darauf zu achten, daß Anode und Kathode der Diode nicht mit dem Chassis in Berührung kommen, weil sonst die Erdfreiheit des Reglers verlorengeht oder Kurzschlußgefahr besteht). Die Diode soll für einen Laststrom von 3 – 5 A ausgelegt sein. Wird auf sie verzichtet, ist auf der Leiterplatte eine Drahtbrücke (1,5 mm Schaltdraht) anzubringen.

Der Konstantspannungsregler E1 verhält sich unter Belastung, was die Stabilität der Ausgangsspannung anbelangt, nach der Belastungskurve in *Bild 70*. Die Werte dieser Kurve wurden nach der Fragestellung ermittelt, bei welchem Laststrom die Ausgangsspannung um nicht mehr als 1 % zurückgeht. Bei einer Eingangsgleichspannung von 40 V (gewonnen aus einer 28 V-Sekundärwechselspannung) zeigt sich, daß die Stabilisierung im Bereich oberhalb 30 V schnell absinkt. Während bei Spannungen bis 30 V der volle Laststrom von 2,5 A noch nicht einmal Spannungseinbrüche von 1 % verursacht, können im Bereich von 30 bis 37 V nur noch geringere Lastströme gefahren werden. Soweit dies im konkreten Anwendungsfall in Kauf genommen werden kann, wird der Regler in der in *Bild 69* enthaltenen Version aufgebaut.

Wer ihn darüberhinaus auch im oberen Spannungsbereich mit hohen Lastströmen betreiben will, kann ihn dazu entsprechend umrüsten. Hierzu sollte bereits die Sekundärwechselspannung mindestens 38 V betragen. Da sich nach Umsetzung in eine Gleichspannung daraus ein Spannungswert bis zu 52 V ergibt, würde die zulässige Speisespannung des 723 (40 V !) bei weitem überschritten. Das läßt sich verhindern, wenn die Speisespannung über einer Zenerdiodenstrecke auf etwa 38 V begrenzt wird. *Bild 71* zeigt diese Schaltungsvariante; als Vorwiderstand,

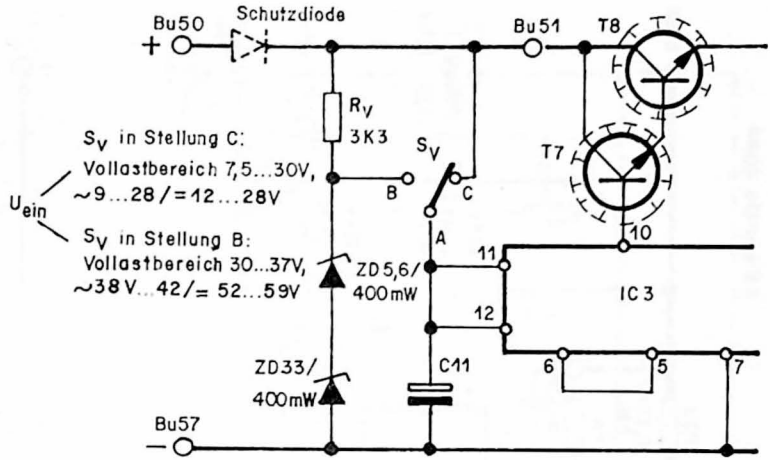


Bild 71. Erweiterung des Konstantspannungsreglers E1 mit einem Vollastbereich für Ausgangsspannungen zwischen 30 und 37 V.

an dem die überschüssige Spannung abfällt (Querstrom durch die Dioden etwa 5 mA) reicht ein Wert von 3,3 kOhm aus. Wird der Vollast-Umschalter S_V eingefügt, kann der Konstantspannungsregler sowohl für den Betrieb mit Eingangsgleichspannungen bis 40 V als auch für Gleichspannungen bis 60 V umgeschaltet werden. Er kann dann auch im Spannungsbereich von 30 bis 37 V mit dem vollen Laststrom betrieben werden, ohne daß die Ausgangsspannung um mehr als 1 % zurückgeht. Bei dieser Betriebsart soll die Ausgangsspannung des Reglers nicht kleiner als 25 V sein, da vom Längsreglertransistor bei Vollast u.U. Verlustleistungen bis zu 80 Watt verkraftet werden müssen. Die Leiterplatte *Bild 75* und der Bestückungsplan, *Bild 76,* sind für die Aufnahme der zusätzlichen Bauelemente vorbereitet.

b2. Schaltbildkurzbeschreibung für E2

3.41 Die Schaltung dieses Konstantspannungsreglers beruht, wie unter 3.39 und *Bild 68* bereits prinzipiell dargestellt, auf einem etwas anders gelagerten Regelprinzip. Hier gibt es keinen Ausgangsspannungsteiler, sondern einen Referenzspannungsregler, mit dem die Ausgangsspannung zwischen 1,5 und 5,5 V von Hand eingestellt werden kann. Das komplette Schaltbild zeigt *Bild 72.* P12 ist der für die Einstellung der

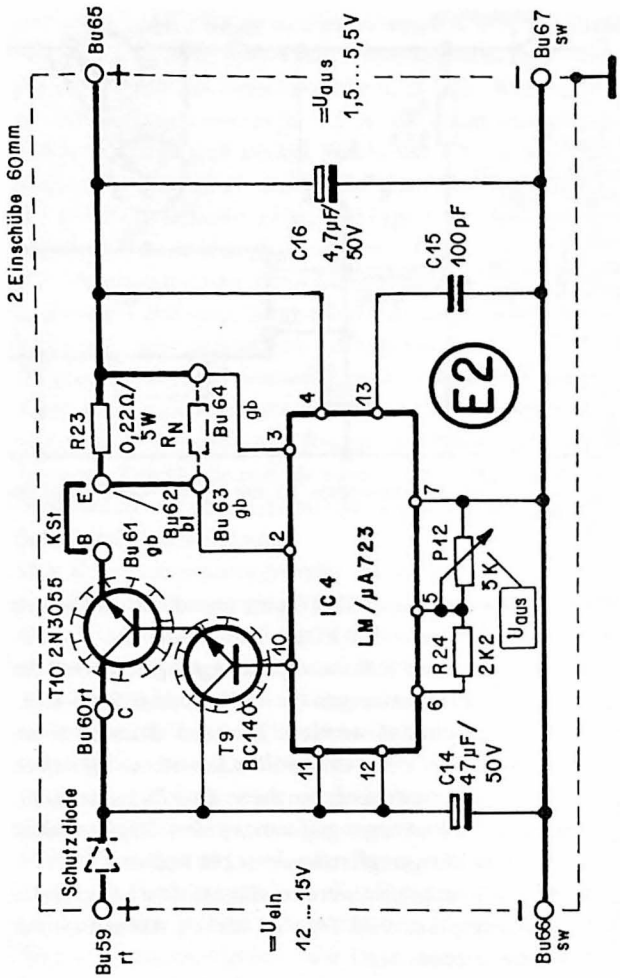


Bild 72. Schaltung des Konstantspannungsreglers 1,5 . . .5,5 V/2,5 A (Zusatzbaustein E2).

Ausgangsspannung vorgesehene Regler. Der Widerstand R24 verhindert, daß der Referenzspannungsquelle bei positiver Stellung des Reglers P12 ein zu hoher Laststrom entzogen wird. Dies beeinflußt den Temperaturgang der IS nachteilig, was wiederum Auswirkungen auf die Stabili-

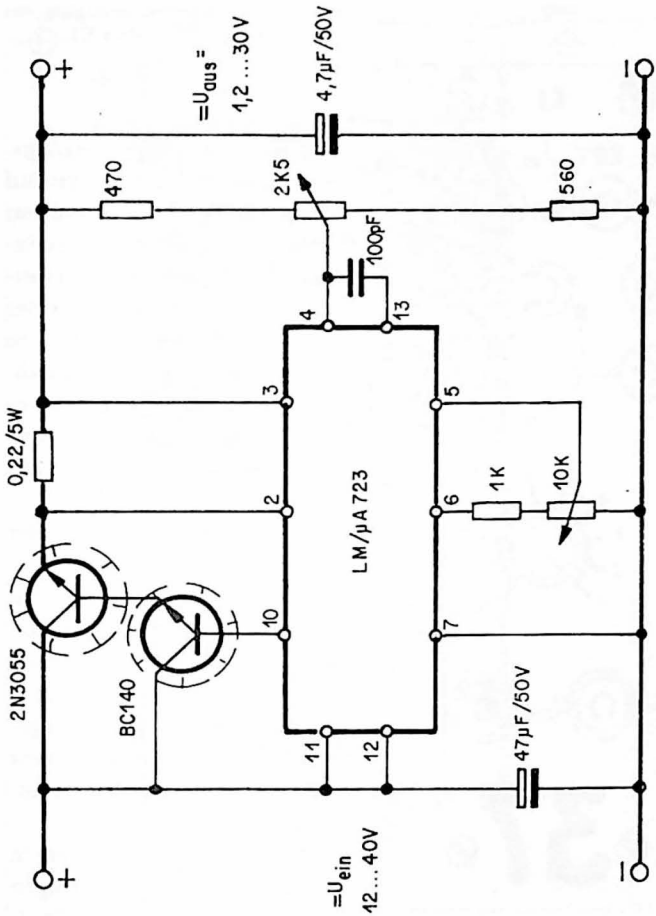


Bild 73. Zusammenfassung der Schaltungen E1 und E2.

sierungseigenschaften der IS hätte. Außerdem bewirkt R24 eine Begrenzung des Spannungsregelbereiches nach oben, d.h. mit seiner Dimensionierung ist die maximal mögliche Ausgangsspannung auf 5,5 V begrenzt. Für P12 sollte ein Regler mit Schraubenziehertrieb eingesetzt

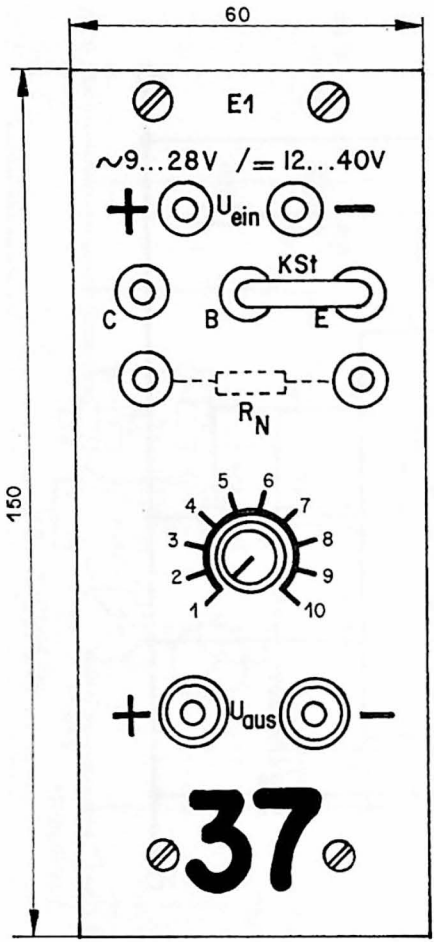


Bild 74. Frontplattenauslegung des Konstantspannungsreglers E1.

werden, weil die Ausgangsspannung für die Praxis auf 5 V eingestellt wird und nur in wenigen Fällen auf geringere Werte umgestellt zu werden braucht. Auch der Regler E2 ist für Lastströme bis 2,5 A ausgelegt. Die Stabilisierung ist über den Regelbereich konstant, die Eingangsspannung sollte den im Schaltbild angegebenen Wertebereich jedoch nicht unter- oder überschreiten.

Für die Dimensionierung von R23 sowie für die Zuschaltung einer Hochlastkaskade gelten dieselben Kriterien wie bei dem Konstantspannungsregler E1; sie bedürfen daher hier keiner weiteren Erläuterung mehr.

Wer schließlich über einen Spannungsregler verfügen möchte, dessen Ausgangsspannung sich zwischen 1, 2 und etwa 30 V kontinuierlich einstellen läßt, kann mit der Schaltung nach Bild 73 weiterexperimentieren. Die Ausgangsspannung dieses Reglers könnte ebenfalls bis 37 V hochgeregelt werden, ihre Stabilität richtet sich dann jedoch nach der Belastungskurve in *Bild 70.* Selbstverständlich könnte auch dieser Schaltung der Vollastbereich zwischen 30 und 37 hinzugefügt werden; *Bild 71* kann dazu entsprechend herangezogen werden.

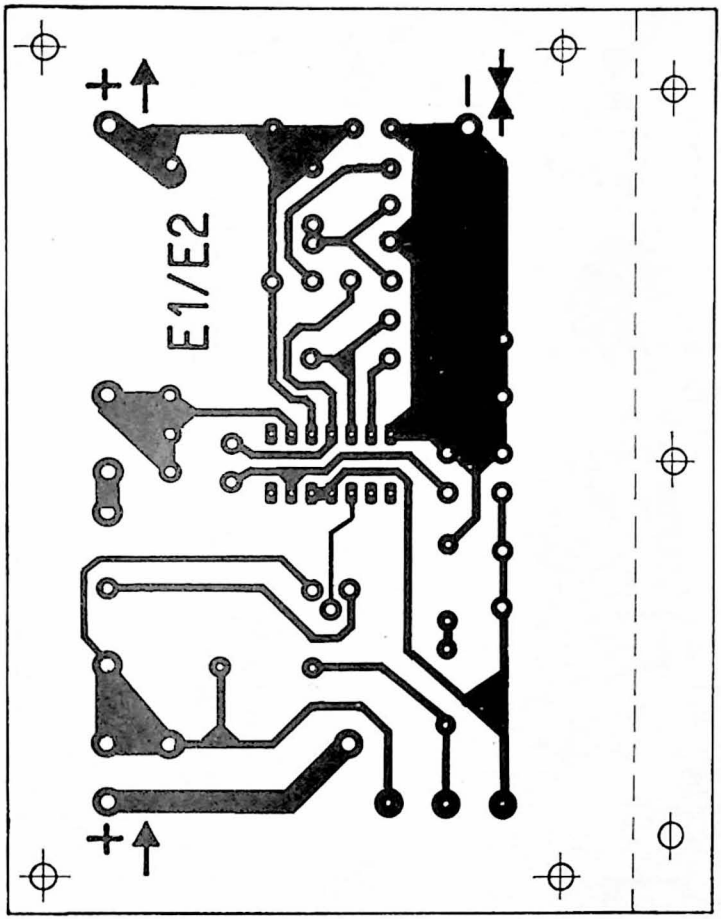


Bild 75. Platinenauslegung für die Konstantspannungsregler E1 und E2, Ansicht von der Lötseite (Maßstab 1:1).

c. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung

3.42 Für den Aufbau der Konstantspannungsmoduln E1 und E2 gelten neben dem jeweils zugehörigen Schaltbild folgende Grundlagen (siehe Seite 153):

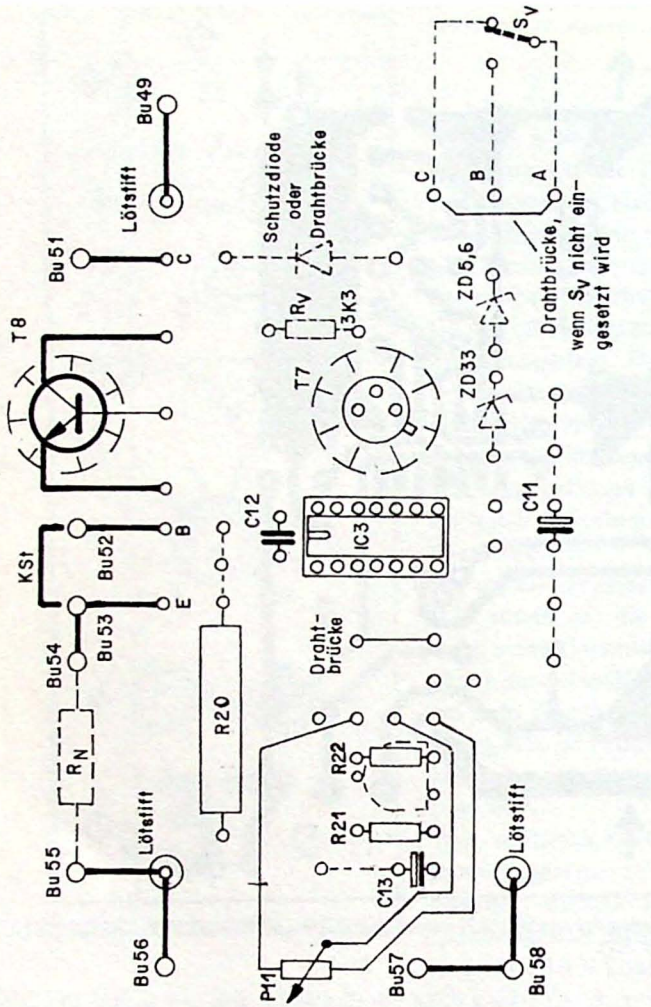
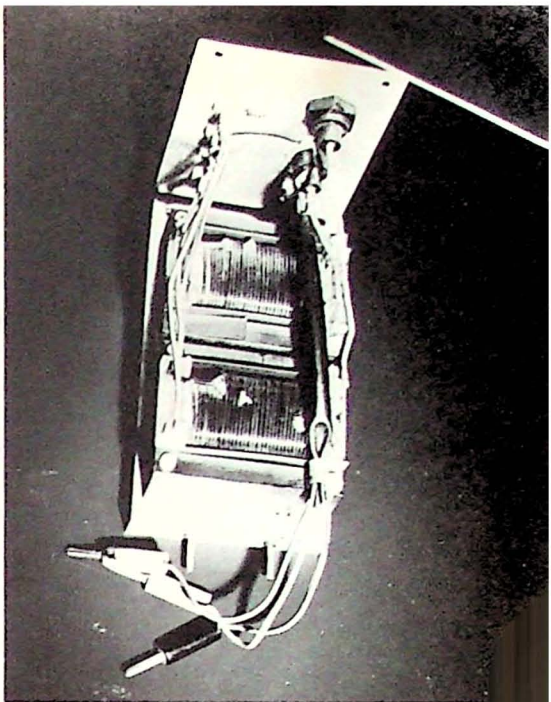


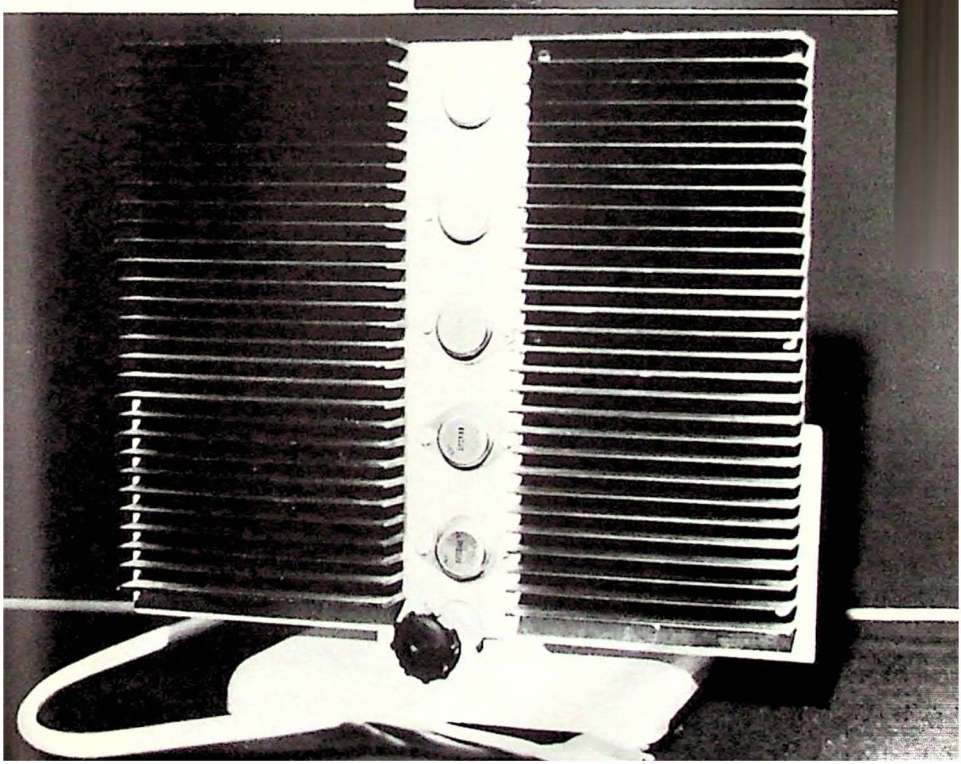
Bild 76. Bestückungsplan und Anschlußschema des Spannungskonstanters E1.

Bild 13. Blick hinter die Kulissen von Bild 12.



Tafel 7

Bild 14. Die Hochlastkaskade mit 5 parallelgeschalteten Leistungstransistoren (2N3055).



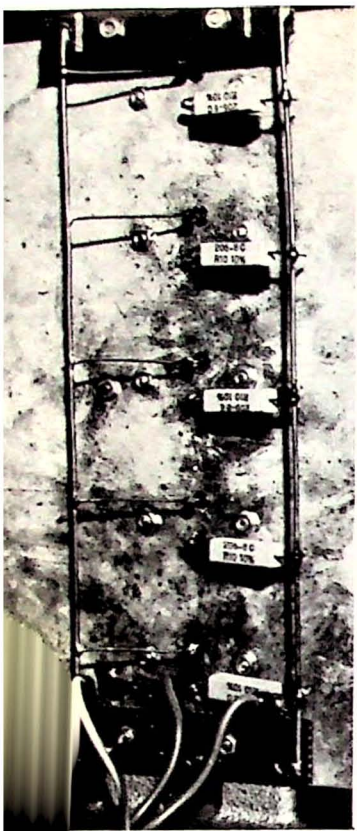


Bild 15. Und so sieht die Rückseite der Kaskade aus. Deutlich sind die 0,1-Ω-Anpassungswiderstände zu sehen.

Tafel 8

Bild 16. Beispiel einer vom Bauvorschlag abweichenden Lösung. Es wurden 2 Konstantregler E2 in einem Doppeleinschub zusammengefaßt.

Stückliste E1* Konstantspannungsregler, Zusatzbaustein E1

Widerstände

1 Stück	R20	Hochlastwiderstand 0,22 Ohm/5 W
1 Stück	R_N	Hochlastwiderstand höchstens 1,0 Ohm/5 W oder kleiner (vgl. Tabelle 6)
1 Stück	R21	820 Ohm
1 Stück	R22	560 . . .680 Ohm
1 Stück	P11	2K5, linear Poti

Kondensatoren

1 Stück	C11	47 µF/50 V Elyt
1 Stück	C12	100 pF, Keramik
1 Stück	C13	4,7 µF/50 V Elyt (Tantal)

Halbleiter

1 Stück	T7	BC140 o.ä. NPN-Typ
1 Stück	T8	2N3055, 100 V-Typ z.B. RCA
1 Stück	IC3	LM/µA723
1 Stück		Schutzdiode 100 V/Laststrom ≥ 3 A ohne zusätzliche Kühlmaßnahmen

Spezialteile

1 Stück		Hochleistungskühlkörper 1,5 . . .2,5 K/W
1 Stück		Kühlstern

Mechanische Teile

1 Stück		Leiterplatte gemäß Bild 75
9 Stück	Bu50 . . .58	Buchse, vollisoliert, Innen Ø 4 mm, davon 3 rot, 3 schwarz, 2 blau, 1 gelb
1 Stück		Skalenknopf mit Anzeigemarke
1 Stück	KSt	Kurzschlußstecker, Stiftabstand 19 mm, Stift Ø 4 mm
div.		Lötstifte
div.		Steckhülsen für Löststifte

* Stückzahlen gelten nur für einen Einschub

Konstantspannungregler E1

– Leereinschub	3 Stück, Einbaubreite 60 mm
– Frontplattenauslegung	gemäß Bild 74
– Leiterplattenauslegung und -bestückung	gemäß Bild 75 und 76 Die Leiterplatte ist zugleich für den Regler E2 ausgelegt
– Bauelemente	gemäß Stückliste E1

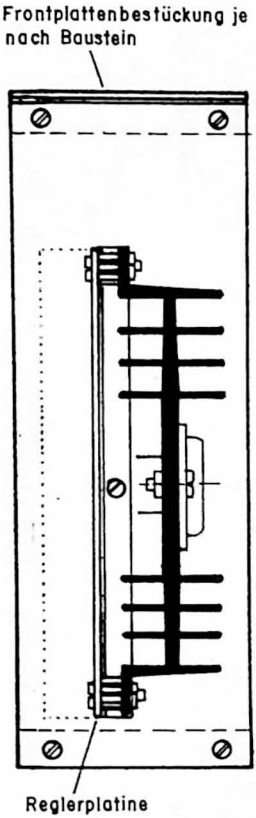


Bild 77. Montageanhalt für die Einschübe E1 . . .E5 (Maßstab 1:2).

– Anordnung der Bauelemente im Einschub:
  gemäß Bild 18 und 77
– Reihenfolge des Aufbaus

1. Aufbau der Leereinschübe einschließlich Frontplattenbeschriftung und -bestückung
2. Herstellen und Bestücken der Leiterplatten gemäß Bild 75 und 76; der Hochleistungskühlkörper wird durch Abstandsrollen (5 mm lang) mit den Leiterplatten verschraubt.
3. Probeaufbau mit der in Bild 19 dargestellten Montagehilfe und externe Funktionsüberprüfung jedes Moduls
4. Einbau der Moduln in die Einschübe
5. Verdrahtungskontrolle vor der abschließenden Funktionsüberprüfung
6. Funktionsüberprüfung
7. Einbau der Einschübe in den Gehäuserahmen 2

Konstantspannungsregler E2

– Leereinschub	2 Stück, Einbaubreite 60 mm
– Frontplattenauslegung	Gemäß Bild 78 a
– Leiterplattenauslegung und -bestückung	gemäß Bild 75 und 78 b
– Bauelemente	gemäß Stückliste E2
– Anordnung der Bauelemente im Einschub	gemäß Bild 18 und 77
– Reihenfolge des Aufbaus	wie beim Konstantspannungsregler E1

3.43 Für den Aufbau der E1- und E2-Moduln wird die gleiche Leiterplatte verwendet. Wer daher Gelegenheit hat, sich seine Leiterplatten

herstellen zu lassen, kann das in *Bild 75* gezeigte Layout zur Grundlage für 5 Ausfertigungen nehmen. Nach der Bestückung wird jeder Modul zunächst extern auf Funktionsfähigkeit überprüft. Wir beginnen mit den E1-Moduln.

Zur Funktionsüberprüfung werden die Anschaltpunkte für die Buchsen Bu52 und 53 mit einer Drahtbrücke verbunden, da der Kurzschlußstecker noch nicht benutzt werden kann. Anschließend wird eine Betriebsspannung von 40 V (gewonnen aus einer 28 V-Sekundärwechselspannung) auf den Eingang gegeben. Am Ausgang wird die Spannung gemessen, sie muß mit P11 kontinuierlich einstellbar sein. Ist R22 durch einen 1kOhm-Regler ersetzt worden, ist die Ausgangsspannung (bei negativer Stellung des Schleifers von P11) auf genau 37 V einzustellen. Sollte sich die Ausgangsspannung nicht ganz bis auf 7,5 V zurückregeln lassen, liegt dies zumeist an Exemplarstreuungen oder sogar einer Fehlfunktion der IS3. Der 723 ist dann durch ein anderes Exemplar zu ersetzen.

Anschließend wird jeder Modul unter Last geprüft; dazu wird die Variable Last gemäß *Bild 54* zugeschaltet; der Gleichspannungsmesser bleibt ausgangsseitig parallelgeschaltet. Als Ausgangsspannung werden 30 V eingestellt. Wird der Laststrom nun langsam erhöht, wirkt sich dies bis zu einer Stromstärke

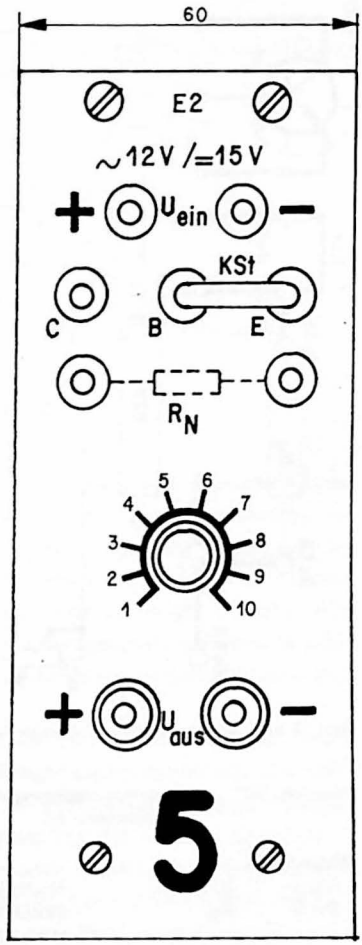


Bild 78 a. Frontplattenauslegung des Konstantspannungsreglers E2.

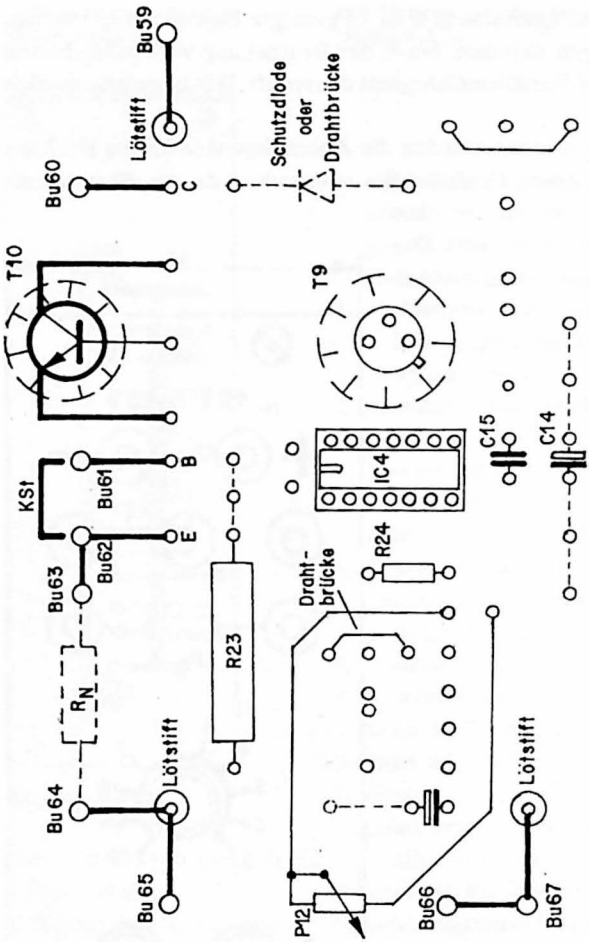


Bild 78 b. Bestückungsplan und Anschlußschema des Spannungskonstanters E2.

Stückliste E2* Konstantspannungsregler,
Zusatzbaustein E2

Widerstände

1 Stück	R23	Hochlastwiderstand 0,22 Ohm/5 W
1 Stück	R_N	Hochlastwiderstand, höchstens 1,0 Ohm/5 W oder kleiner (vgl. Tabelle 6)

1 Stück	R24	2K2 . . . 1,5K
1 Stück	P12	5K, linear

Kondensatoren

1 Stück	C14	47 µF/25 V Elyt
1 Stück	C15	100 pF, Keramik
1 Stück	C16	4,7 µF/15 V Elyt (Tantal)

Halbleiter

1 Stück	T9	BC140 o.ä. NPN-Typ
1 Stück	T10	2N3055
1 Stück	IC4	LM/µA723
1 Stück		Schutzdiode 100 V/Laststrom ≥ 3 A ohne zusätzliche Kühlmaßnahmen

Spezialteile

1 Stück		Hochleistungskörper 1,5 . . . 2,5K/W
1 Stück		Kühlstern

Mechanische Teile

1 Stück		Leiterplatte gemäß Bild 75
9 Stück	Bu59 . . . 67	Buchse, vollisoliert, Innen Ø 4 mm
1 Stück		Skalenknopf mit Anzeigemarke, wenn P12 nicht als Schraubenzieherregler ausgeführt wird
1 Stück	KSt	Kurzschlußstecker, Stiftabstand 19 mm, Stift Ø 4 mm
div.		Lötstifte
div.		Steckhülsen für Lötstifte

* Stückzahlen gelten nur für einen Einschub

von etwa 2,4 A nicht auf die Ausgangsspannung aus. Erst bei Stromstärken zwischen 2,4 und 2,8 A schaltet die Überstromsicherung zunächst langsam und dann schlagartig ab. Die Ausgangsspannung geht im durchgeschalteten Zustand auf etwa 2 V zurück. Der Strommesser an der Variablen Last zeigt in diesem Zustand etwa 2,7 A an. Dieselbe Abschaltcharakteristik zeigt sich, wenn die Ausgangsbuchsen des Moduls kurzgeschlossen werden; die Ausgangsspannung geht dann jedoch sofort auf den Restwert von 2 V zurück.

Ist ein Vollastbereich für Spannungen von 30 . . . 37 V vorgesehen, wird S_V in Stellung B geschaltet und eine Eingangsgleichspannung von mindestens 52 V (gewonnen aus einer 38-V-Sekundärwechselspannung) angelegt. Zunächst ist die Betriebsspannung der IS über der Zenerdiodenstrecke zu messen. Geht sie wegen möglicher Exemplarstreuungen der Dioden über 40 V hinaus, ist die 5,6-V-Diode durch ein 4,7- oder 3,9-V-Exemplar zu ersetzen. Anschließend wird auch der Aus-

gangsspannungsbereich zwischen 30 und 37 V unter voller Belastung (2,5 A Laststrom) geprüft. Auch hier muß die Ausgangsspannung jetzt bis hinauf zu 37 V gegenüber Lastschwankungen zwischen 0 und 2,5 A „unempfindlich" sein.

Dem „Vereinfacher" unter den Freizeitelektronikern wird sich spätestens jetzt die Frage aufdrängen, weshalb der Konstantspannungsregler nicht von vornherein mit einer zenerdiodenstabilisierten 40-V-Betriebsspannung betrieben wird. Das kann man sicherlich tun, muß dabei aber immer in Kauf nehmen, daß die Eingangsspeisespannung mindestens 52 V betragen muß. Sollen dem Regler nur kleine Ausgangsspannungen (z.B. 7,5 bis 15 V) entnommen werden, führt dies zu Spannungsabfällen zwischen 35 und 45 V am Längsregeltransistor; bei hohen Laststrőmen muß dieser dann Verlustleistungen bis zu 120 W „verkraften". Betreibt man nicht den hierfür erforderlichen Kühlaufwand (und Hochleistungskühlkörper für Verlustleistungen dieser Größenordnung lassen sich in einem 60 mm breiten Einschub nicht unterbringen), ist die thermische Überlastung des Längsregeltransistors geradezu vorprogrammiert. Es erweist sich daher als zweckmäßiger, bei der hier dargestellten „Umschalt-Version" zu bleiben.

Die Funktionsüberprüfung der E2-Moduln gestaltet sich wesentlich kürzer. Zunächst wird auch hier der Kurzschlußstecker durch eine vorübergehende Drahtbrücke ersetzt. Auf den Eingang wird eine 15 V-Spannung gegeben. Am Ausgang muß sich die zwischen 1,5 und 5,5 V regelbare stabilisierte Spannung einstellen. Auch hier wird die Variable Last zugeschaltet. Die Ausgangsspannung zeigt dann über den gesamten Einstellbereich einen nicht über 40 mV hinausgehenden Spannungsrückgang bei Vollast (2,5 A); dies ist weniger als 1 % der unbelasteten Ausgangsspannung.

Nachdem die Konstantspannungsmoduln solchermaßen ebenfalls auf Herz und Nieren geprüft worden sind, können sie nach Entfernung der für die Kurzschlußstecker eingelöteten Schaltbrücken in die vorbereiteten Leereinschübe eingebaut und die Verdrahtung der Einschübe durchgeführt werden. Am Schluß wird – wie bereits bei allen vorangegangenen Einschüben – eine gründliche Verdrahtungskontrolle gemacht und die Funktionsüberprüfung am fertiggestellten Einschub wiederholt. Dann können die betriebsbereiten Einschübe gemäß *Bild 9* in den Gehäuserahmen 2 eingebaut werden.

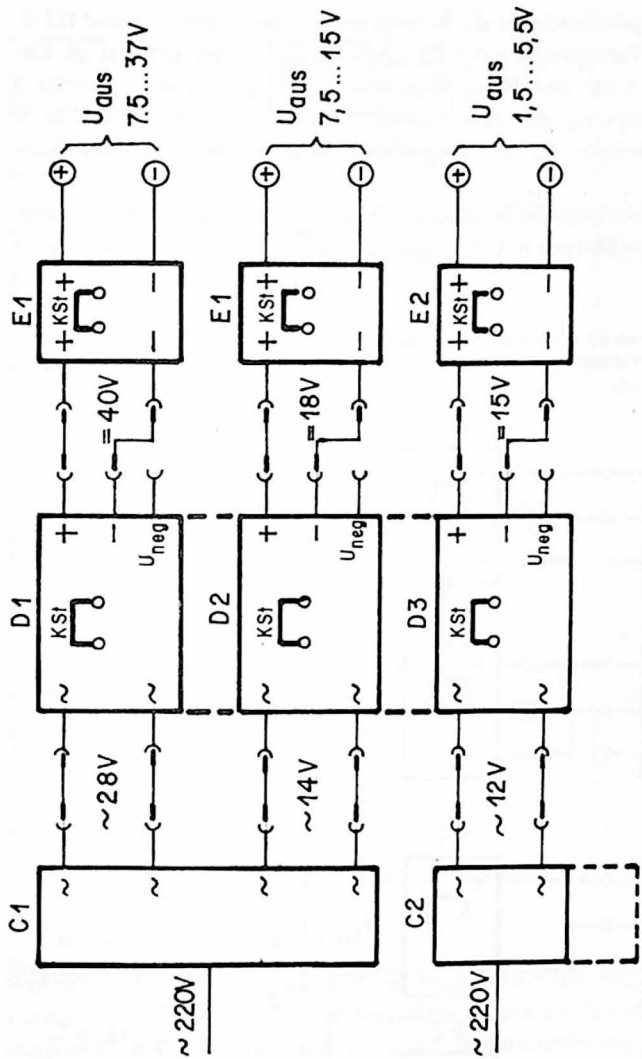


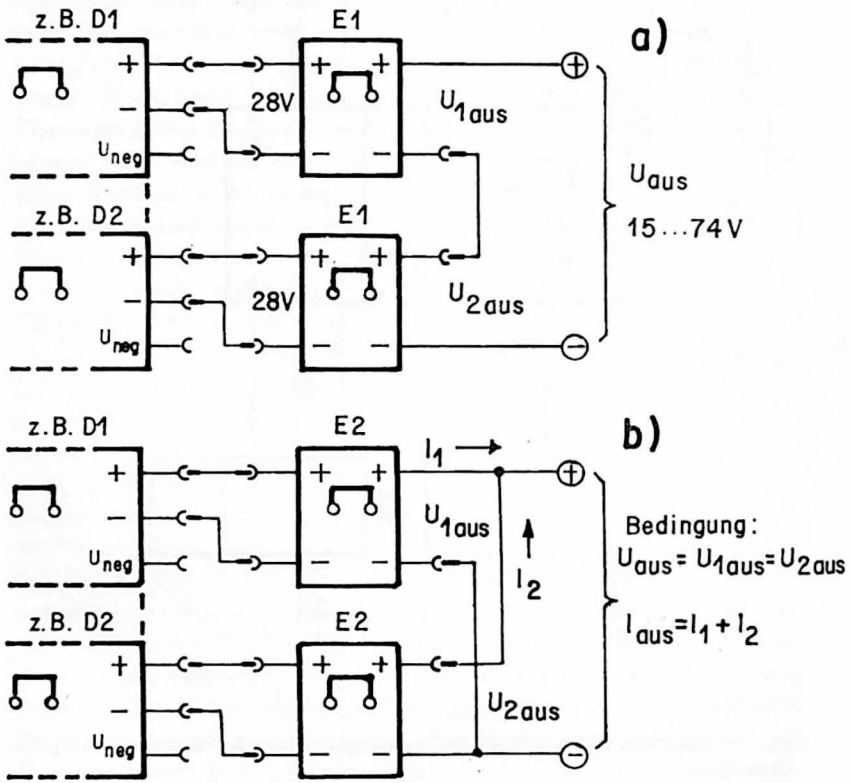
Bild 79. Inbetriebnahme von 3 Spannungsversorgungszügen mit stabilisierten Ausgangsspannungen.

d. Anwendungsbeispiele für die Konstantspannungsregler E1 und E2

3.44 Mit der Fertigstellung der E1- und E2-Bausteine können im Zusammenwirken mit den Bausteinen des Gehäuserahmens 1 bereits 3 Gleichspannungszüge gleichzeitig in Betrieb genommen werden. *Bild 79* enthält ein Beispiel für die mögliche Zusammenschaltung der Baugruppen.

In dieser Kombination kann jeder der Gleichspannungsausgänge unabhängig von den übrigen mit einem maximalen Strom von 2,5 A belastet werden.

Bild 80. Vervielfachungsschaltungen mit Konstantspannungsreglern.
a) Spannungsvervielfachung
b) Stromverstärkung



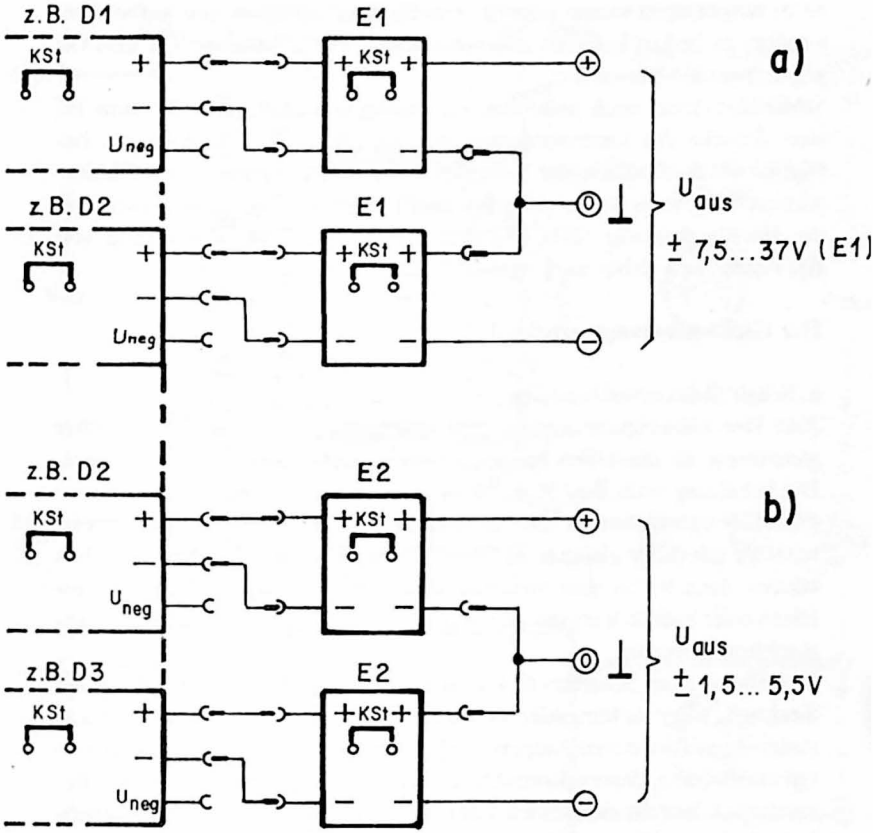


Bild 81. Aufbereitung von symmetrischen Speisespannungen
a) mit den Konstantspannungsreglern E1
b) mit den Konstantspannungsreglern E2

Wie schon bei den Moduln der Elektronischen Sicherung beschrieben, können die einzelnen Gleichspannungsausgänge zur Spannungsvervielfachung *(Bild 80a)* in Serie oder zur Stromverstärkung *(Bild 80 b)* parallelgeschaltet werden.
Solange der Duale Spannungsteiler noch nicht zur Verfügung steht, können mit den E1- und E2-Einschüben bereits – wie dies schon beim Betrieb der Moduln G1 und G2 in Spannungsverdopplerschaltung *(Bild*

63 b) beschrieben wurde – symmetrische Speisespannungen aufbereitet werden; es bedarf lediglich eines Austausches der Moduln G1 und G2 gegen zwei E1-Moduln.
Schließlich kann auch jeder der Konstantspannungsregler E1 und E2 zum Zwecke der Laststromerhöhung mit einer Hochlastkaskade betrieben werden. Dazu ist der Kurzschlußstecker zu entfernen, der Fühlerwiderstand jeweils durch einen Parallelwiderstand R_N zu ergänzen und die Hochlastkaskade *(Bild 65)* einzufügen. Die Dimensionierung von R_N richtet sich dabei nach *Tabelle 6*, unterer Teil.

Der Gleichspannungsverteiler F

a. Schaltbildkurzbeschreibung
3.45 Der Gleichspannungsverteiler dient dazu, mehrere Verbraucher gleichzeitig an derselben Speisespannungsquelle betreiben zu können. Die Schaltung zeigt *Bild 82 a*. Er ist in doppelter Ausführung in einem Einschub untergebracht. Das Schaltbild für den Gleichspannungsverteiler F1 gilt daher gleichzeitig für F2. An den Ausgang jedes Verteilers können dann bis zu drei weitere Bausteine des Universal-Spannungslabors oder andere Verbraucher gleichzeitig und parallel zueinander angeschlossen werden.
In Stellung a des Schalters S14 sind die Ein- und Ausgangsbuchsen auf direktem Wege miteinander verbunden. Da über den Verteiler Lastströme bis zu mehreren Ampere fließen können, ist für S11 ein Schaltertyp einzusetzen, dessen Kontakte entsprechend ausgelegt sind. Als Besonderheit besteht bei beiden Gleichspannungsverteilern die Möglichkeit, ein Tiefpaßfilter für Frequenzen oberhalb 10 kHz in den Spannungsversorgungszug einzuschleifen. Dadurch kann die im Grundbaustein A (Netzspannungshauptschalter) bereits enthaltene HF-Abblockung bei Bedarf verbessert werden. Bei der im Schaltbild angegebenen Dimensionierung kann der Laststrom durch die Drosseln bis zu 4 A betragen; HF-Spannungen von 3 V_{eff} werden durch dieses Filter bis 250 MHz auf einen netzseitigen Restspannungswert von 0,1 μV herabgesetzt.
b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung
3.46 Für den Gleichspannungsverteiler braucht kein kompletter Leereinschub vorbereitet zu werden. Es genügt, beide HF-Filter nach Art von *Bild 16* auf einer gemeinsamen Platine aufzubauen und diese in ihren

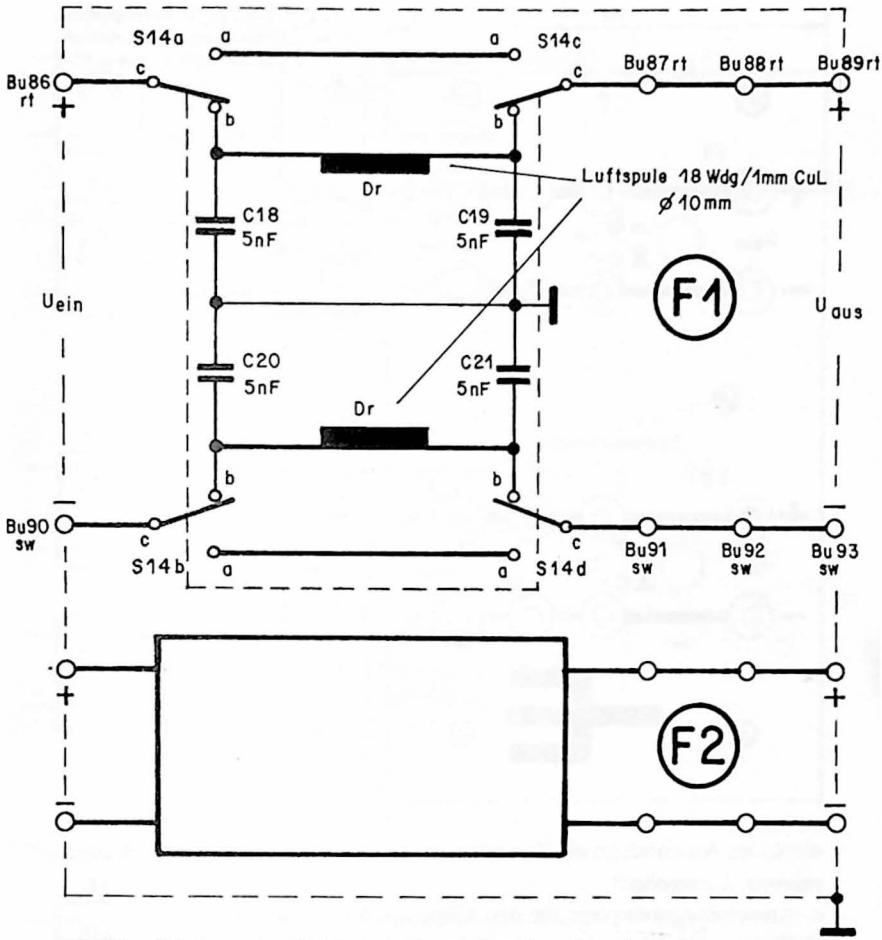


Bild 82 a. Schaltung des Gleichspannungsverteilers (Zusatzbaustein F).

Abmessungen so anzupassen, daß sie mittels 4 Zylinderschrauben und 20 mm langer Abstandsröllchen an der Frontplatte befestigt werden kann. Die Auslegung der Frontplatte selbst kann gemäß *Bild 82 b* vorgenommen werden.

Eine besondere Funktionsprüfung erübrigt sich, wenn die Verdrahtung fehlerfrei durchgeführt wird. Der fertige Gleichspannungsverteiler wird

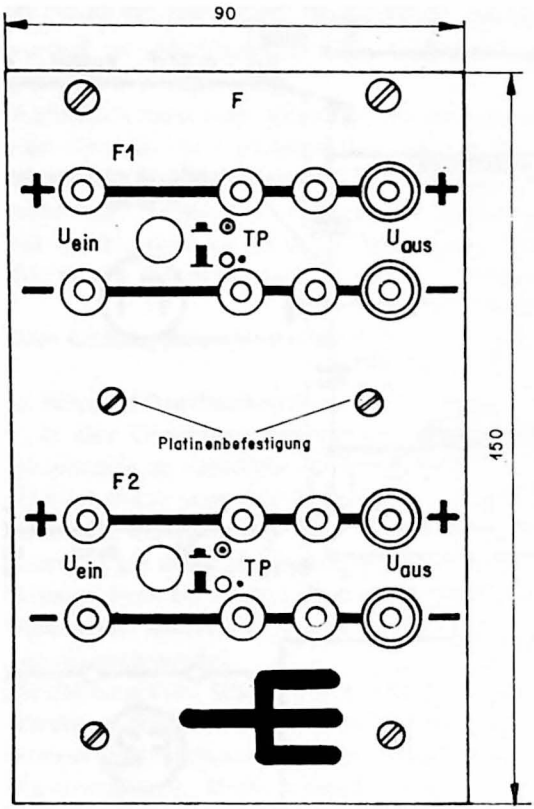


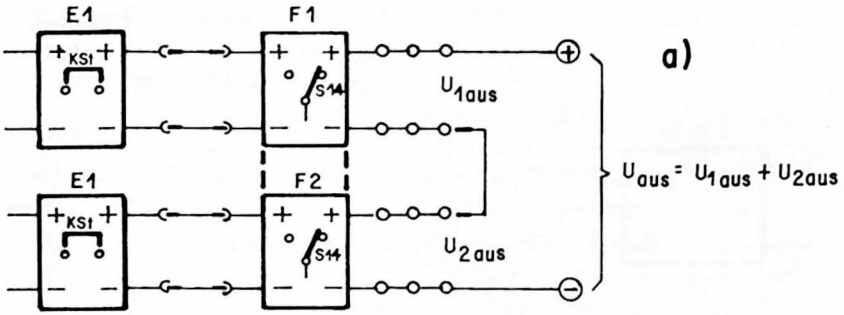
Bild 82 b. Frontplattenauslegung des Gleichspannungsverteilers F.

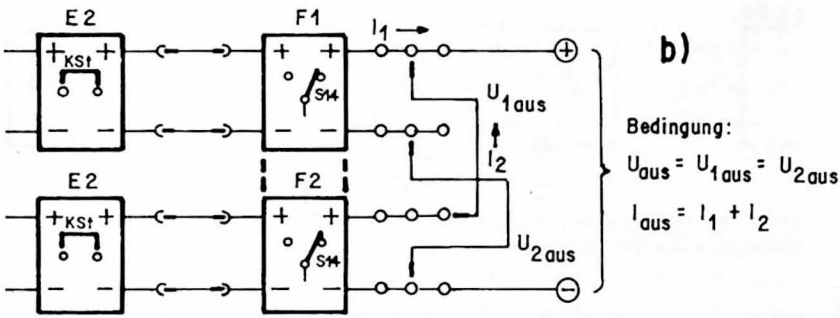
direkt im Anschluß an die Konstantspannungsregler E1 in den Gehäuserahmen 2 eingebaut.

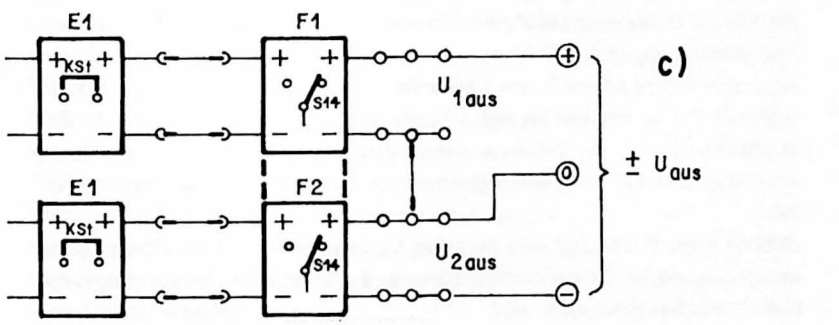
c. Anwendungsbeispiele für den Gleichspannungsverteiler

3.47 Der Gleichspannungsverteiler F kann überall dort eingesetzt werden, wo Bausteine des Universal-Spannungslabors oder Verbraucher an einem bestimmten Punkt parallelgeschaltet werden sollen. Die *Bilder*

Bild 83. (rechts) Einsatz des Gleichspannungsverteilers bei der Zusammenschaltung von Bausteinen des Universal-Spannungslabors.
a) Spannungsverdopplerschaltung
b) Stromverstärkerschaltung
c) Symmetrischer Spannungsabgriff


E1
F1
KSt
S14
U_{1aus}
E1
F2
KSt
S14
U_{2aus}
a)
$U_{aus} = U_{1aus} + U_{2aus}$


E2
F1
KSt
S14
I_1
U_{1aus}
I_2
E2
F2
KSt
S14
U_{2aus}
b)
Bedingung:
$U_{aus} = U_{1aus} = U_{2aus}$
$I_{aus} = I_1 + I_2$


E1
F1
KSt
S14
U_{1aus}
E1
F2
KSt
S14
U_{2aus}
c)
$\pm U_{aus}$

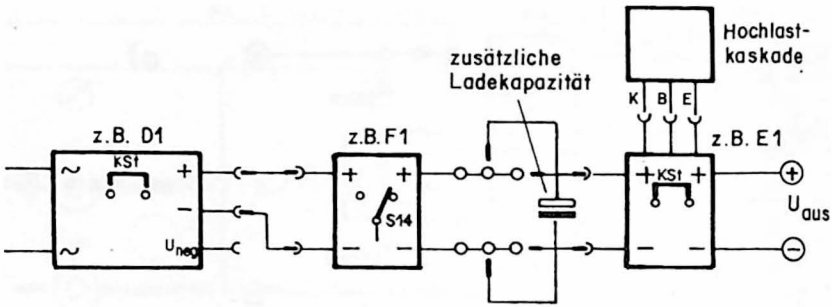


Bild 84. Anschalten einer zusätzlichen Ladekapazität unter Zwischenschaltung des Gleichspannungsverteilers.

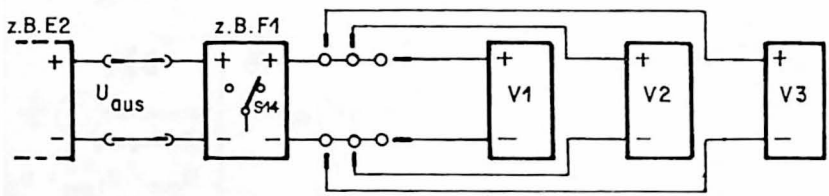


Bild 85. Anschluß mehrerer Verbraucher (V1 . . .V3) an denselben Spannungsausgang unter Zwischenschaltung eines Gleichspannungsverteilers.

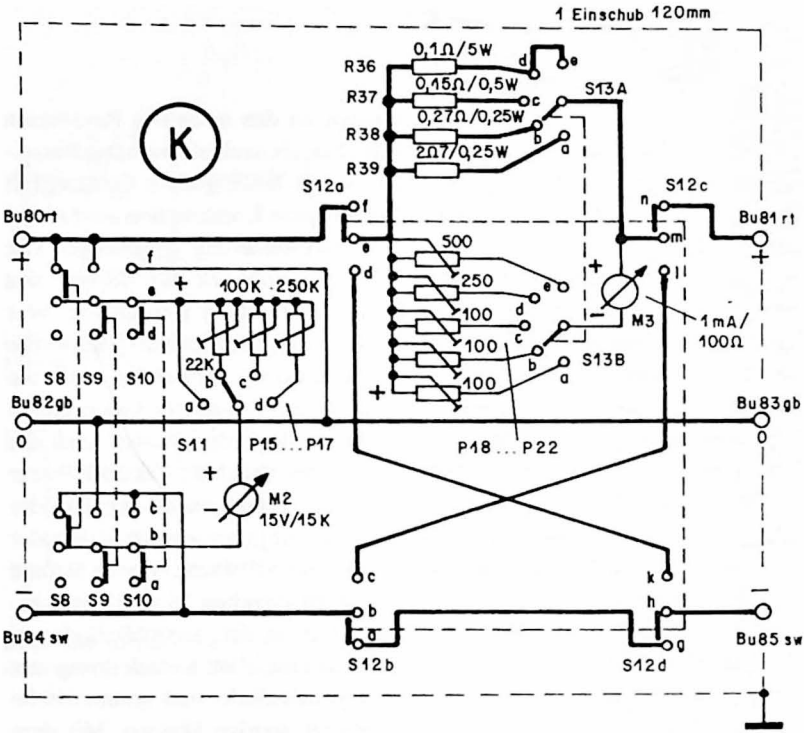
83 a, b und *c* zeigen beispielsweise, wie er bei der Zusammenschaltung von Konstantspannungsreglern zur Spannungsverdopplung *(Bild 83 a)*, zur Stromverstärkung *(Bild 83 b)* oder zum Abgriff einer symmetrischen Speisespannung *(Bild 83 c)* zwischengeschaltet werden kann.
Ist es bei der Entnahme von Lastströmen > 5 A erforderlich, im Einschub D bei einem der Netzgleichrichterzüge die Kapazität des Ladekondensators C8 zu erhöhen, kann dies ebenfalls durch Zwischenschaltung des Gleichspannungsverteilers bewerkstelligt werden *(Bild 84)*.
Bild 85 schließlich zeigt, wie mehrere Verbraucher an demselben Spannungsausgang betrieben werden können, wenn ein Gleichspannungsverteiler zwischengeschaltet wird.

Der Strom-/Spannungsmesser K

a. Schaltbildkurzbeschreibung

3.48 Um sowohl die Betriebsspannungen an den einzelnen Bausteinen des Universal-Spannungslabors überprüfen als auch die verbraucherseitig wirksamen Ströme und Spannungen mit hinlänglicher Genauigkeit messen zu können, ist mit dem Einschub K eine Kombination aus Strom- und Spannungsmesser mit Mehrbereichsumschaltung vorgesehen. Die Meßwerte werden durch je ein Drehspulmeßwerk für Strom- und Spannungsmessungen angezeigt; die Anzeige erfolgt also analog. Wer die Kosten nicht scheut, kann an Stelle analog anzeigender Meßwerke natürlich auch digital anzeigende Meßmoduln verwenden und die Schaltung entsprechend abändern. Nach der Erfahrung des Autors haben Drehspulinstrumente in der Laborpraxis jedoch den Vorteil, daß die Anzeigetendenz – also eine Meßwertzu- oder abnahme – unmittelbarer erkennbar ist als bei digitalen Meßmoduln. Ihnen wurde daher in der nachfolgenden Schaltung des Strom-/Spannungsmessers *(Bild 86)* der Vorzug gegeben. Mit der Anordnung in dieser Schaltung können Ströme zwischen 50 mA und 5 A sowie Spannungen zwischen 15 und 120 V gemessen werden. In beiden Fällen handelt es sich ausschließlich um Gleichstrom- oder Gleichspannungsmeßwerte. Die Umschaltung der Meßwerke ist dazu so ausgelegt, daß asymmetrische und symmetrische Strom- und Spannungsmeßwerte angezeigt werden können. Mit dem Strommesser können darüberhinaus positive wie negative Stromrichtungen erfaßt werden.

Das Meßwerk M2 ist in der Schaltung nach *Bild 86* als Spannungsmesser geschaltet; es kann mit den durch gegenseitige Tastenauslösung untereinander verbundenen Schaltern S8, S9 und S10 an jeweils unterschiedliche Eingangsbuchsen gelegt werden. Steht S8 in Arbeitsstellung (in der Schaltung gezeichnete Stellung), wird die an den Buchsen Bu80 (Pluspol) und Bu84 (Minuspol) liegende (und damit asymmetrische) Eingangsspannung angezeigt. Wird dagegen eine symmetrische Gleichspannung eingespeist (Bu80 an Plus, Bu82 an Null, Bu84 an Minus) kann durch Setzen des Schalters 9 in Arbeitsstellung die positive oder durch Setzen des Schalters S10 in Arbeitsstellung die negative Teilspannung gemessen werden. Mit dem Schalter S11 können überdies die Spannungsbereiche vorgewählt werden.



Schalterstellungen	S11	S13
a	15 V	50 mA
b	30 V	500 mA
c	60 V	1,0 A
d	120 V	2,5 A
e	–	5,0 A

Bild 86. Schaltung des Strom-/Spannungsmessers (Zusatzbaustein K) 15...120 V/ 50 mA...5,0 A.

Als Strommesser ist das Meßwerk M3 in die Schaltung eingefügt. M3 arbeitet im Prinzip als Spannungsmesser über den Meßwiderständen R36...R39. An diesen Meßwiderständen fällt je nach Stellung von S13 bei Vollast eine Spannung von etwas mehr als 0,1 V ab. Die Regler P18...P22 werden daher jeweils so eingestellt, daß an M3 bei Vollaus-

schlag genau 0,1 V abfällt. Der Strommesser kann mittels S12 nun sowohl in den positiven als auch in den negativen Leitungszweig eingeschleift werden. M3 liegt bei Ruhestellung von S12 (im Schaltbild angegebene Stellung) im positiven Leitungszweig und kann dann zur Messung des Laststromes im Verbraucherstromkreis zwischen Bu81 und Bu83 sowie im Verbraucherstromkreis zwischen Bu81 und Bu85 herangezogen werden. Nach Umschaltung in Arbeitsstellung mißt M3 den Laststrom im negativen Verbraucherstromkreis zwischen Bu83 und Bu85.

Da der Strom-/Spannungsmesser in der Regel zwischen dem Speisespannungsausgang und dem Verbraucher eingesetzt wird, verfügt er über je drei Ein- und Ausgangsbuchsen. Bei dieser Art der Zwischenschaltung des Strommessers muß jedoch berücksichtigt werden, daß sich vom Verbraucher her betrachtet der Innenwiderstand der Speisespannungsquelle erhöht. Dem liegt folgender Sachverhalt zugrunde *(Bild 87)*: Der Innenwiderstand der Konstant-Spannungsregler E1 und E2 (hier mit R_E bezeichnet) beträgt bei Vollast (Laststrom 2,5 A) etwa 0,12 Ohm. Da er in Serie mit dem durch S13 zwischengeschalteten Meßwiderstand R_M liegt, addieren sich R_E und R_M aus Sicht des Verbrauchers zu einem Widerstandswert. Der Wert von R_M beträgt in Stellung d (2,5 A) des Schalters S13 0,1 Ohm. Die Summe aus R_E und R_M ergibt somit einen Gesamtwiderstand von 0,22 Ohm, d.h. der Innenwiderstand der Speisespannungsquelle verdoppelt sich ungefähr. Für die Stabilität der Speisespannung bedeutet dies, daß bei Vollast ein Spannungsabfall von 0,55 V am „Innenwiderstand" der Speisespannungsquelle auftritt. Die Vollastausregelung ist dann nicht mehr ≤ 1 % sondern geht auf etwa 2 % vom unbelasteten Ausgangsspannungswert zurück. Die Stabilisierung der Speisespannung wird dadurch also etwas schlechter. Handelt es sich daher bei dem angeschlossenen Verbraucher um einen Schaltungsaufbau, dessen Funktion durch die Verschlechterung der Stabilisierung bereits in Frage gestellt ist (z.B. dann, wenn die abgegriffene Ausgangsgleich-

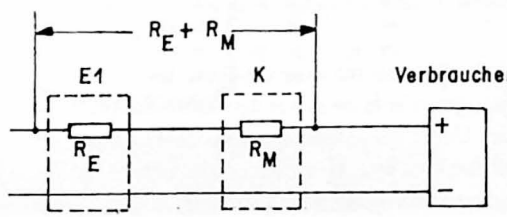


Bild 87. R_E und R_M liegen in Serie, ihre Widerstände addieren sich.

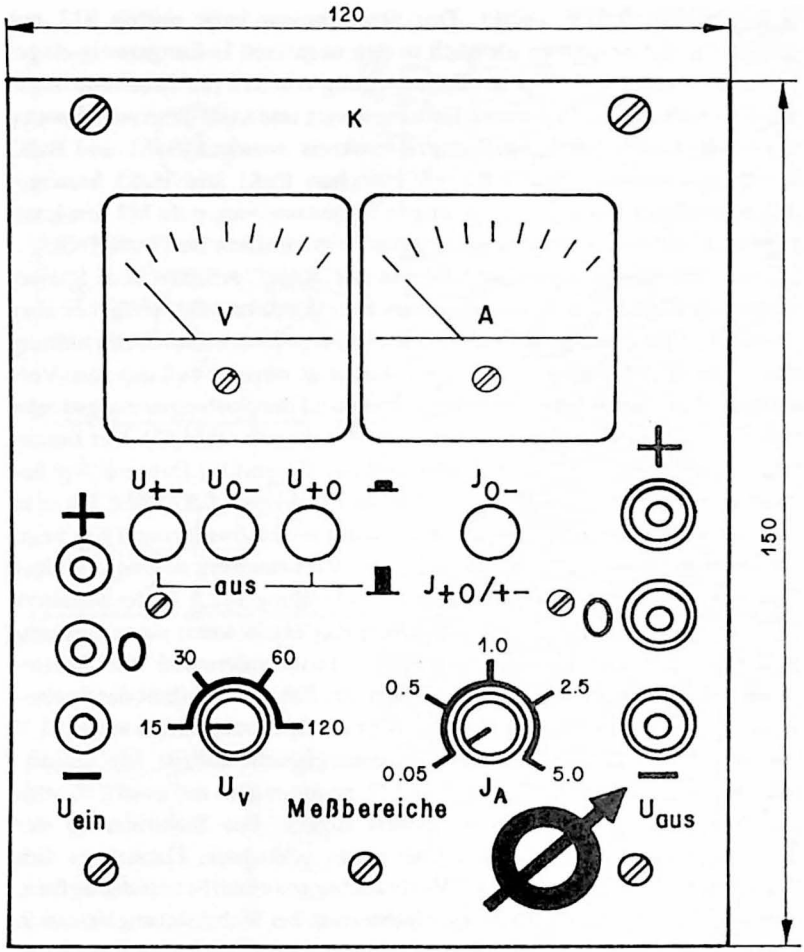


Bild 88. Frontplattenauslegung des Strom-/Spannungsmessers.

spannung zur Gewinnung einer hochstabilen Referenzspannung herangezogen wird), muß auf den Strommesser verzichtet oder aber ein externes Gerät eingesetzt werden, dessen Innenwiderstand vernachlässigbar gering ist. Wer über keinen derartigen Strommesser verfügt, kann sich zumindestens ein wenig dadurch helfen, daß er den Strom-/Spannungs-

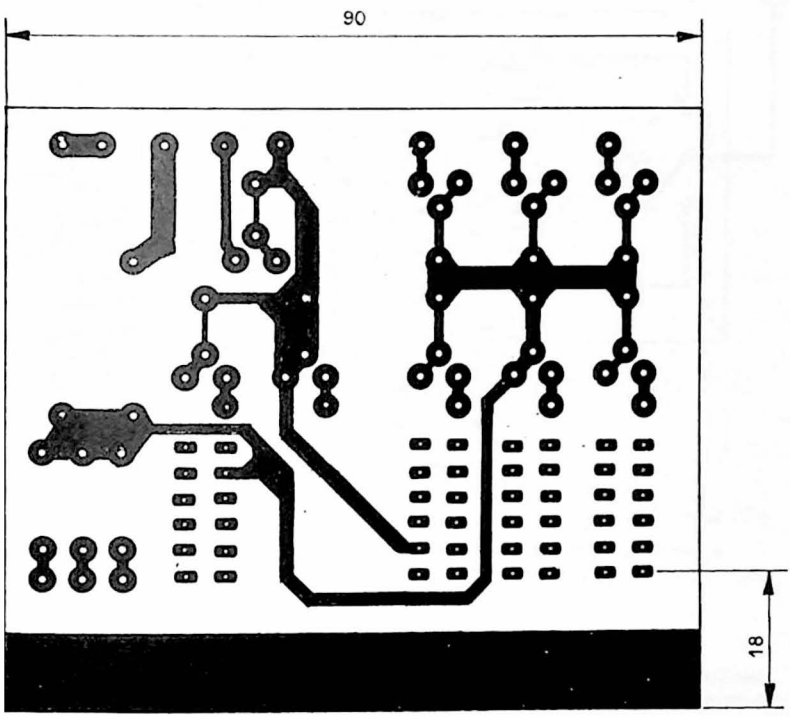
messer nicht nach, sondern vor dem Konstantspannungsregler einsetzt. Nachteilig an dieser Lösung ist allerdings, daß der auf diese Weise zu messende Laststrom auch den Eigenverbrauch des Konstantspannungsreglers enthält. Doch nun zum praktischen Aufbau.

b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung

3.49 Maßgeblich für den Aufbau des Strom-/Spannungsmessers sind neben dem Schaltbild folgende Grundlagen:

- Leereinschub — 1 Stück, Einbaubreite 120 mm, nur Frontplatte
- Frontplattenauslegung und -bestückung — gemäß Bild 88 (weiter S. 173)

Bild 89. Platinenauslegung für den Strom-/Spannungsmesser K, Ansicht von der Lötseite (Maßstab 1:1).



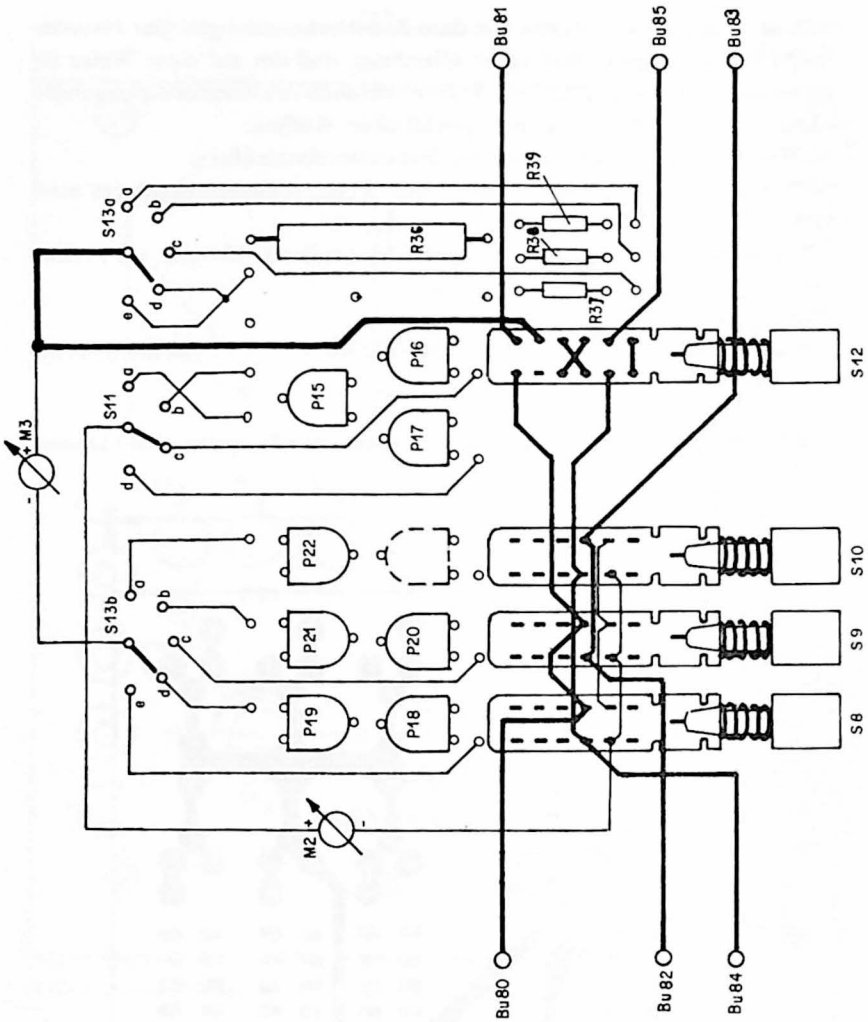


Bild 90. Bestückungsplan und Anschlußschema zur Leiterplatte des Strom-/Spannungsmessers (mit Verdrahtung der Schalter S8, 9, 10 und S12).

Stückliste K Strom-/Spannungsmesser, Zusatzbaustein K

Widerstände

1 Stück	R36	Hochlastwiderstand 0,1 Ohm/5 W
1 Stück	R37	Hochlastwiderstand 0,15 Ohm/0,5 W
1 Stück	R38	Hochlastwiderstand 0,27 Ohm/0,25 W
1 Stück	R39	Hochlastwiderstand 2,7 Ohm/0,25 W
1 Stück	P15	22 k Trimmer
1 Stück	P16	100 K Trimmer
1 Stück	P17	250 K Trimmer
3 Stück	P18, 19, 20	100 Ohm Trimmer } Werte müssen geändert werden,
1 Stück	P21	250 Ohm Trimmer } wenn für M3 ein Meßgerät mit
1 Stück	P22	500 Ohm Trimmer } anderem Innenwiderstand eingesetzt wird

Spezialteile

1 Stück	M2	Drehspulmeßwerk, 15 V/15 K } Gehäuse beider
1 Stück	M3	Drehspulmeßwerk, 1 mA/100 Ohm } Meßwerke 42 x 42 mm
4 Stück	S8, 9, 10, 12	Schadow-Drucktaster je 4 x UM
1 Stück	S11	Stufenschalter, 1 Ebene, 4 Schaltstellungen
1 Stück	S13a, b	Stufenschalter, 2 Ebenen, 4 Schaltstellungen

Mechanische Teile

1 Stück		Leiterplatte gemäß Bild 89
6 Stück	Bu80 . . .85	Buchse, vollisoliert, Innen Ø 4 mm je 2 rot, 2 schwarz, 2 gelb
2 Stück		Skalenknopf mit Anzeigemarke
div.		Lötstifte
div.		Steckhülsen für Lötstifte

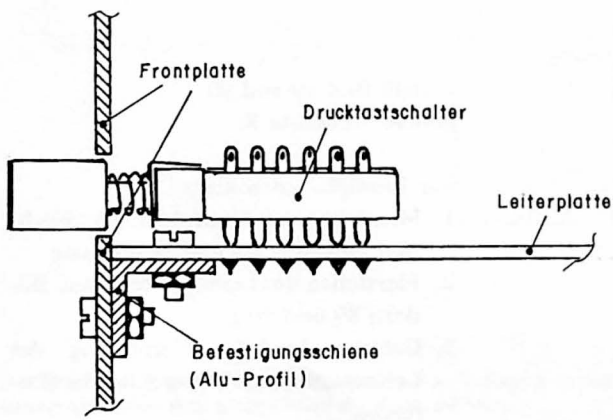
- Leiterplattenauslegung und -bestückung — gemäß Bild 89 und 90
- Bauelemente — gemäß Stückliste K
- Anordnung der Bauelemente im Einschub — nur Frontplattenmontage
- Reihenfolge des Aufbaus
  1. Herstellen der Frontplatte einschließlich Beschriftung und Bestückung
  2. Herstellen der Leiterplatte gemäß Bildern 89 und 90
  3. Externe Funktionsüberprüfung der Leiterplatte und Abgleich der Meßbereiche

– Reihenfolge des Aufbaus (Fortsetzung)

4. Einbau der Leiterplatte (Frontplattenmontage) und Verdrahtung des Bausteines
5. Verdrahtungskontrolle vor der abschließenden Funktionsüberprüfung
6. Funktionsüberprüfung
7. Einbau in den Gehäuserahmen 2

3.50 Die Leiterplatte ist so ausgelegt, daß sie gemäß *Bild 91* mit Hilfe zweier Metallwinkel an der Frontplatte montiert werden kann. Sie ist so anzubringen, daß die Tasten der Umschalter S8 . . .10 und S12 paßgenau in den entsprechenden Bohrungen der Frontplatte sitzen und leichtgängig betätigt werden können. Für den Strom-/Spannungsmesser braucht daher kein kompletter Einschub vorbereitet zu werden. Es genügt die Frontplatte. Die Schalter selbst werden mit ihren Lötbeinchen nur in die vorbereiteten Montagelöcher der Leiterplatte eingesetzt und festgelötet. Dabei ist darauf zu achten, daß die Tasten parallel zur Vorderseite der Leiterplatte fluchten. Die Verdrahtung der Schalter wird ausschließlich mit Schaltdraht durchgeführt; hierzu werden die nach oben durchgeführten Lötösen der Schalterkontakte benutzt. Welche Kontakte miteinander zu verbinden sind, zeigt *Bild 90.*
Die Montagewinkel können – wenn es sich dabei um lötfähiges Material

Bild 91. Montagehilfe für die Leiterplatte des Strom-/Spannungsmessers.



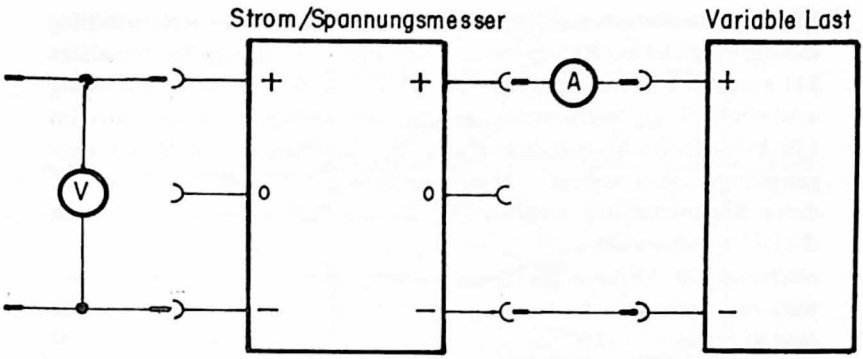


Bild 92. Hilfsschaltung für den Abgleich der Meßbereiche des Strom-/Spannungsmessers.

handelt – ebenfalls mit der Leiterplatte verlötet werden. Genauso einfach ist es, sie auf beiden Seiten der Leiterplatte mit kurzen Zylinderschrauben zu befestigen.

Zur externen Funktionsüberprüfung wird die Leiterplatte auf unserer Prüfvorrichtung fixiert *(Bild 19)*. Die beiden Meßwerke werden angeschlossen. Zusätzlich werden ein externer Strom- und Spannungsmesser gemäß *Bild 92* vorgeschaltet. Sie dienen als Referenzgeräte, von ihrer Genauigkeit hängt daher auch die Meßwertgenauigkeit von M2 und M3 ab. Die Regler P15 . . .P17 und P18 . . .P22 werden mit ihren Schleifern auf den jeweils positiven Anschlag gestellt, um eine Überlastung der Meßwerke bei Einspeisung der Eingangsspannung zu vermeiden. Die Variable Last bleibt vorerst noch abgetrennt, wird zum Abgleich von M3 jedoch zugeschaltet.

Schalter S8 wird gedrückt, damit dienen Bu80 und 84 als Einspeisungspunkte für asymmetrische Eingangsspannungen. Die Schalter S11 und S13 werden zunächst in Position a gebracht. Wird nun eine 15-V-Eingangsspannung angelegt, muß E2 Vollausschlag anzeigen. Weicht die Anzeige um mehr als 0,1 V über den Vollausschlag hinaus ab, kann die auf der Leiterplatte vorhandene Drahtbrücke durch einen Einstellregler (es genügt wahrscheinlich ein Wert von wenigen Kiloohm) ersetzt und dieser so eingestellt werden, daß M2 genau Vollausschlag anzeigt. S11 wird nun auf Stellung b gebracht. Die Anzeige geht zurück und wird mit P15 so eingestellt, daß der Zeiger genau auf Skalenmitte steht. Wird die

Eingangsspannung nun auf 30 V erhöht, muß M2 wieder Vollausschlag anzeigen, ggf. ist mit P15 etwas nachzuregeln. In Stellung c des Schalters S11 wiederholt sich dieser Einstellvorgang. Bei 60 V Eingangsspannung wird ebenfalls auf Vollausschlag abgeglichen. Dies wird analog dazu im 120-V-Meßbereich wiederholt. Die für den Abgleich erforderlichen Eingangsspannungen werden – soweit sie über 30 V hinausgehen – z.B. durch Serienschaltung mehrerer E1-Konstantspannungsregler – nach *Bild 83 a* aufbereitet.

Nachdem der Abgleich der Spannungsmeßbereiche abgeschlossen ist, wird eine symmetrische Eingangsspannung (Aufbereitung z.B. gemäß *Bild 83 c)* von +/– 15 V eingespeist. M2 zeigt in Stellung b von S11 30 V an. Wird nun S9 gedrückt, geht die Anzeige auf 15 V zurück, wenn die Eingangsspannung genau symmetrisch ist. Bei Betätigung von S10 kommt es ebenfalls zu einer 15-V-Anzeige. Zeigt M2 diese Spannungswerte nicht an, liegt wahrscheinlich ein Verdrahtungsfehler im Bereich der Schalter S9 und/oder S10 vor. Er sollte dann gesucht und behoben werden.

Wenden wir uns nun dem Abgleich des Strommessers M3 zu. Hierzu wird die Variable Last an die Buchsen Bu81 und Bu85 angeschaltet und Null-Strom eingestellt. S12 verbleibt in Ruhestellung (diese entspricht der im Schaltbild angegebenen Stellung). Auf die Eingangsbuchsen Bu80 und 84 wird eine Spannung von 12 V gegeben (über Netztransformatoreinschub C2 aufbereiten, da Lastströme bis 6 A zum Abgleich von M3 erforderlich sind). Wird der Laststrom nun auf 50 mA eingestellt (mit externem Strommesser als Referenzgerät kontrollieren), spricht M3 nur geringfügig an. P18 (100 Ohm) ist nun so lange zu verstellen, bis das Instrument Vollausschlag anzeigt. Nachdem der Laststrom wieder auf Null zurückgeregelt wurde, kann S13 in Stellung b gebracht werden. Jetzt wird ein Laststrom von 500 mA eingestellt. Mit P19 erfolgt wiederum ein Abgleich auf Vollausschlag an M3. Alle folgenden Meßbereiche werden nach demselben Verfahrensgang abgeglichen. Bei Lastströmen über 4 A sollte die Einstellung zügig vorangehen, um einer allzugroßen Wärmebelastung des Leistungstransistors in der Variablen Last vorzubeugen.

Schließlich wird auch hier die ordnungsgemäße Umschaltung des Strommessers mittels S12 überprüft. Dazu wird ein Laststrom von etwa 250 mA eingestellt und S12 in Arbeitsstellung geschaltet. Auch in dieser Schalterstellung muß M3 250 mA einzeigen, wenn die Verdrahtung der

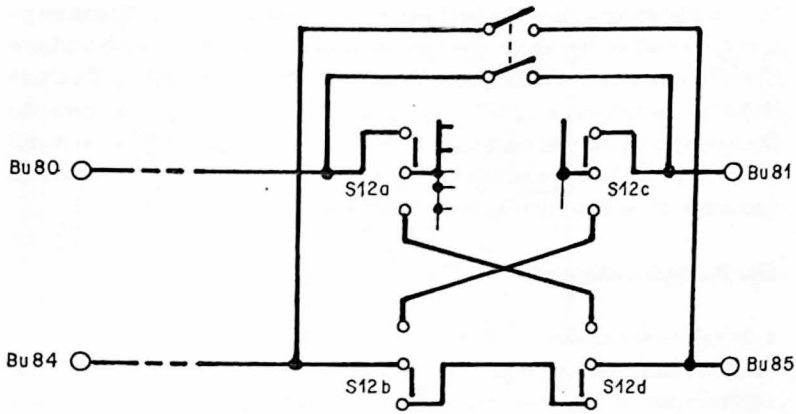


Bild 93. Überbrückung des Strommessers mit einem Kurzschlußschalter.

Schalter fehlerlos ist. Mit diesem Prüfschritt sind externe Funktionsüberprüfung und Meßgeräteabgleich schon beendet.
Die geprüfte Leiterplatte wird anschließend endgültig an der Frontplatte angebracht und mit den Bedienelementen an der Frontplatte verdrahtet. Die Verdrahtung wird abschließend auf Übereinstimmung mit dem Schaltbild überprüft, so daß sich die endgültige Funktionsüberprüfung des fertigen Bausteines anschließen kann. Sie ist in derselben Schrittfolge wie bei der externen Leiterplattenüberprüfung zu wiederholen. Im Anschluß wird der fertige Strom-/Spannungsmesser ganz rechts in den Gehäuserahmen eingebaut.
3.51 Es müßten nun noch einige Anwendungsbeispiele folgen, um die Baubeschreibung des Strom-/Spannungsmessers in derselben Weise abzuschließen wie bei vorangegangenen Bausteinen. Dies ist jedoch nicht notwendig, weil im Zuge der Schaltbildkurzbeschreibung und der Hinweise für den Aufbau und die Funktionsüberprüfung eigentlich die wesentlichen Gesichtspunkte angesprochen wurden. Es gibt lediglich noch einen ergänzenden Hinweis für solche Anwendungsfälle, in denen Lastströme von mehr als 5 A über den Strom-/Spannungsmesser geführt werden. Kommt diese häufiger vor, kann für S13 ein Schalter mit 6 Schaltstellungen eingesetzt werden, so daß noch ein weiterer Meßbereich für beispielsweise 10 A hinzugefügt werden kann. Dann muß jedoch auch für S12 ein Schalter eingesetzt werden, dessen Schaltkontakte für solche

Lastströme geeignet sind. Ist bei hohen Laststrom nur eine Spannungskontrolle notwendig, kann man sich auch mit einem Schalter begnügen (2 x EIN), mit dem sich die Buchsen Bu80/81 einerseits und die Buchsen Bu84/85 andererseits direkt zusammenschalten lassen; die gesamte Strommeßkomponente wird dadurch galvanisch überbrückt und ist damit außer Betrieb. Der Spannungsmesser bleibt nach wie vor angeschlossen und kann ohne Einschränkungen benutzt werden *(Bild 93)*.

Der Nullspannungsnachsetzer E3

a. Schaltbildkurzbeschreibung

3.52 Mit dem Nullspannungsnachsetzer wenden wir uns nun einem Zusatzbaustein zu, der eine nützliche Ergänzung für die Konstantspannungsregler G1/2 und E1 darstellt. Seine Aufgabe ist es, die Ausgangsspannung dieser Regler bis auf Null zurückregeln zu können. Dazu wird er dem jeweiligen Konstantspannungsmodul nachgeschaltet oder nachgesetzt – daher die Bezeichnung „Nullspannungsnachsetzer". Prinzipiell könnte die Schaltung des Nullspannungsnachsetzers in die der einzelnen Konstantspannungsregler einbezogen werden. Da sich der Bauteileaufwand für diese Stufe dann jedoch verfünffachte und in der Praxis wohl kaum mehrere Spannungen gleichzeitig bis auf Null heruntergeregelt werden müssen, steht er als separater Einschub für die wahlweise Zusammenschaltung mit einem der Konstantspannungsregler zur Verfügung. Schauen wir uns das zugehörige Schaltbild *(Bild 94)* unter diesem Aspekt etwas näher an.

Die Schaltung besteht im Prinzip aus einem Operationsverstärker mit nachgeschaltetem Leistungsausgang für höhere Laststrom (T11, T12). Sie ist uns bereits von *Bild 67* her bekannt und beruht auf demselben Funktionsprinzip. Als Operationsverstärker ist hier der bekannte Typ uA741 eingesetzt; seine Spannungsverstärkung ist infolge der Dimensionierung des Ausgangsspannungsteilers R27/R28 auf 2 fest eingestellt. Die an Pin 6 des µA741 stehende Regelspannung hat daher einen Wert von

$$U_{Reg} = U_{ref} \left(1 + \frac{R27}{R28}\right) = 2U_{ref} \text{ (da R27 = R28).}$$

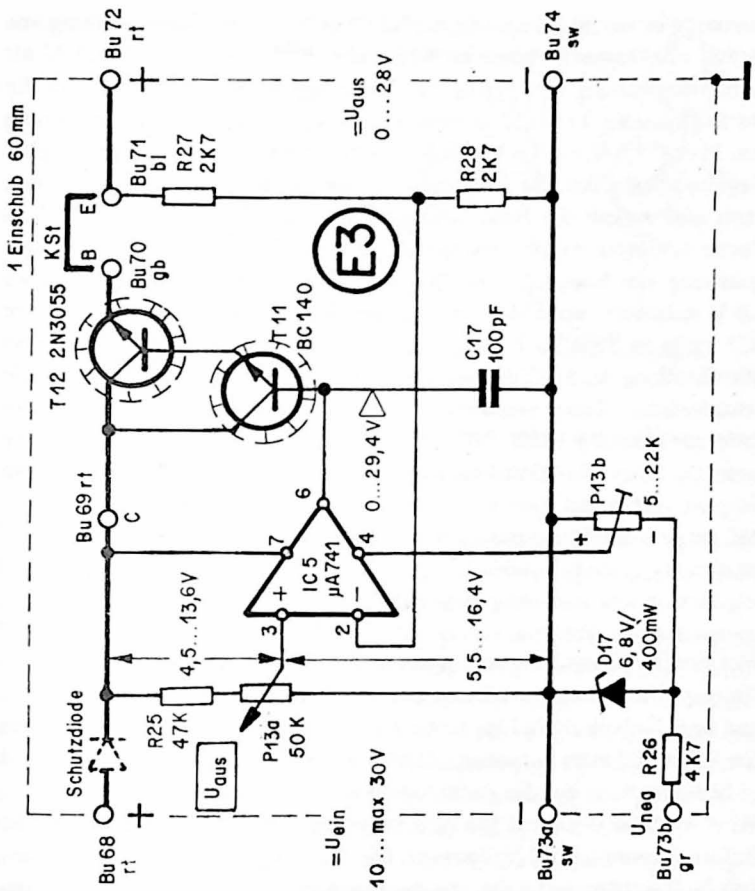


Bild 94. Schaltung des Nullspannungsnachsetzers 0 . . .28 V/2,5 A (Zusatzbaustein E3).

Infolge des Spannungsabfalles an den Basis-/Emitterstrecken von T11 und T12 erreicht die Ausgangsspannung somit einen Wert von höchstens $2U_{ref} - 1{,}2 \ldots 1{,}4$ V.

Als Referenzspannung wird ein Teil der Eingangsspannung über dem Spannungsteiler R25/P13a abgegriffen und an den nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers gelegt. Die maximale Eingangs-

spannung ist auf 30 V begrenzt; an R25 fällt dann eine Teilspannung von 14,5 V ab. Dadurch stehen an P13a maximal 30 – 14,5 = 15,5 V als Referenzspannung zur Verfügung. Diese Spannung reicht aus, um die Darlingtonstufe T11/T12 theoretisch bis zu einer Ausgangsspannung von 31- ca. 1,4 V = 29,6 V auszusteuern. Da die Ausgangsspannung bei Reglern dieser Art die Eingangsspannung jedoch nicht überschreiten kann und zudem die Basis-/Emitterspannungsabfälle an T11/T12 zu Buche schlagen, ergibt sich für die Praxis eine nutzbare Ausgangsspannung von höchstens etwa 28,5 V. Diese wird nochmals um etwa 0,6 V reduziert, wenn die Schutzdiode zwischengeschaltet wird. Wäre R25 nicht in Serie zu P13a geschaltet, fiele an P13a bereits etwa bei Mittelstellung des Schleifers die für die volle Aussteuerung der Endstufe erforderliche Referenzspannung an. Eine weitere Erhöhung der Referenzspannung hätte daher keine Zunahme der Ausgangsspannung mehr zur Folge; die Hälfte des Regelbereiches von P13a würde somit im Totgang verbraucht. Durch die Vorschaltung von R25 wird also erreicht, daß die gesamte Widerstandsbahn des Reglers P13a für die Spannungseinstellung genutzt werden kann. Die Ausgangsspannung läßt sich infolgedessen sehr feinfühlig einstellen. Dies ist besonders bei Spannungen im unteren Bereich von Vorteil.

Wer darüberhinaus im Spannungsbereich unterhalb 1,5 V eine noch feinfühligere Spannungseinstellung erreichen möchte, kann zwischen P13a und dem Nulleiter (Bu73a) einen weiteren 2,5-kOhm-Regler einfügen (im Schaltbild nicht enthalten). Dieser Regler leistet gute Dienste, wenn es beispielsweise um die Aufnahme von Diodenkennlinien geht.

Wird der Schleifer von P13a zum negativen Anschlag gedreht, geht die Referenzspannung auf Null zurück. Die Ausgangsspannung würde ebenfalls Null werden, wenn dies von der Innenschaltung des µA741 her möglich wäre. In der Praxis liegt die kleinste erzielbare Ausgangsspannung daher bei Werten zwischen 3 und 4 V. Um die Ausgangsspannung dennoch ganz auf Null zurückregeln zu können, wenden wir einen Kunstgriff an. Dieser besteht darin, die im Netzgleichrichterzug verfügbare negative Hilfsspannung über Bu73b einzuspeisen und P13b so einzustellen, daß der negative Betriebsspannungsanschluß des µA741 (Pin 4) gerade um den Restbetrag der Ausgangsspannung in den negativen Bereich verlegt wird. P13b ist dann richtig eingestellt, wenn die Ausgangsspannung bei Negativstellung des Schleifers von P13a genau Null ist. Wer darauf Wert

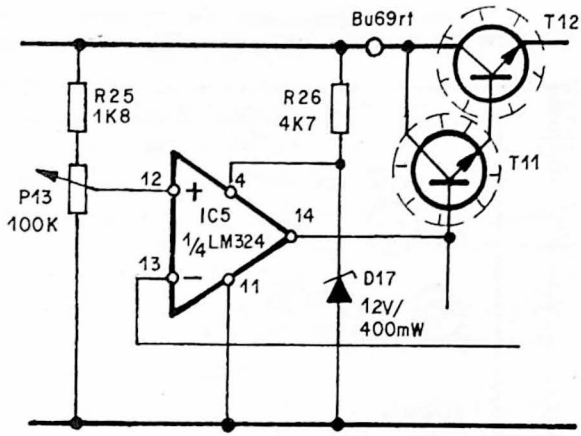


Bild 95. Einsatz des LM324 im Nullspannungsnachsetzer.

legt, die negative Hilfsspannung zu stabilisieren, kann dies durch Hinzufügen von D17 und R26 erreichen. Die Schaltung arbeitet jedoch auch ohne diese Maßnahme mit hoher Stabilität.

Wen schließlich auch noch das Einspeisen der negativen Hilfsspannung stört, der kann an Stelle des µA741 einen LM324 in der Schaltung einsetzen und einen der vier in diesem Schaltkreis integrierten Operationsverstärker aktivieren. Die Innenschaltung dieses Reglers gestattet es, die Ausgangsspannung ohne negative Hilfsspannung auf etwa 50 mV – praktisch also bis Null zurückzuregeln. Die Betriebsspannung dieser IS liegt bei maximal 28 V, in dem Schaltungsauszug gemäß *Bild 95* ist sie über eine Zenerdiode mit 12 V etwa auf die Hälfte dieses Spannungswertes eingestellt. Mit der Schaltung nach *Bild 95* können daher Eingangsspannungen zwischen 15 und 20 V geregelt werden.

Die übrige Schaltung aus *Bild 94,* insbesondere die Anschlußbuchsen für eine externe Hochlastkaskade, sind uns bereits von den vorstehend beschriebenen Bausteinen her bekannt. Sie bedürfen keiner weiteren Erläuterung. Es ist zweckmäßig, auch den Eingang dieses Bausteines mit einer Diode gegen Verpolung zu schützen, dies geht jedoch ein wenig zu Lasten der Stabilität der Ausgangsspannung. Der Nullspannungsnachsetzer E3 ist grundsätzlich nur für den Betrieb mit stabilisierten Eingangsspannungen vorgesehen, wie sie die Bausteine G1, G2 und E1

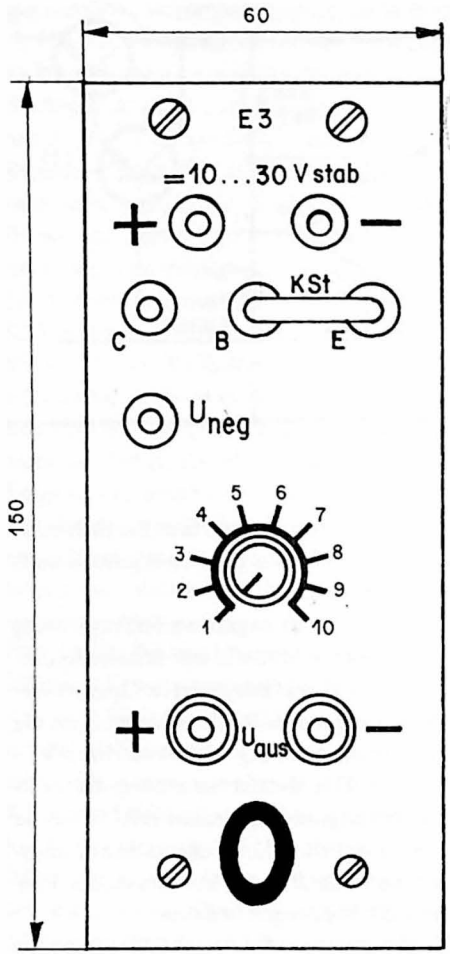


Bild 96. Frontplattenauslegung des Nullspannungsnachsetzers E3.

liefern. Seine Nachschaltung hat kaum Einfluß auf die Stabilität der Ausgangsspannung. Die Ausregelung bei Vollast ist nach wie vor besser 1 % (Laststrom 2,5 A). Der Nachsetzer kann auch mit unstabilisierter Gleichspannung betrieben werden, liefert dann jedoch auch nur unstabilisierte Ausgangsspannungen. Da die Bausteine G1, G2 und E1 ausnahmslos mit einer Kurzschlußsicherung versehen sind, bedarf es beim Nullspannungsnachsetzer E3 nicht noch einer zusätzlichen Abschaltautomatik. Sein Ausgang ist im Zusammenwirken mit diesen Bausteinen daher ebenfalls kurzschlußfest. Vorsicht ist jedoch geboten, wenn er an einem Gleichspannungsausgang betrieben wird, der nicht gegen Kurzschlüsse abgesichert ist (z.B. trifft dies für die Ausgänge aller Netzgleichrichterzüge zu), weil dann bereits eine nur kurzzeitige Überlastung zur Zerstörung der Halbleiter führen kann.

b. Hinweise für den Aufbau und die Funktionsüberprüfung

3.53 Maßgeblich für den praktischen Aufbau des Nullspannungsnachsetzers E3 ist das Schaltbild nach *Bild 94*. Daneben gelten die nachfolgenden Abbildungen und Hinweise als Grundlage für den Nachbau:

– Leereinschub	1 Stück, Einbaubreite 60 mm
– Frontplattenauslegung	gemäß Bild 96
– Leiterplattenauslegung und -bestückung	gemäß Bild 97 und 98
– Bauelemente	gemäß Stückliste E3
– Anordnung der Bauelemente im Einschub	gemäß Bild 77 (die Anordnung entspricht der bei den Konstantsspannungsreglern E1 und E2)
– Reihenfolge des Aufbaus	1. Aufbau des Leereinschubes einschließlich Frontplattenbeschriftung und -bestückung 2. Herstellen und Bestücken der Leiterplatte gemäß Bild 97. Die Auslegung ist auf die Schaltung nach Bild 94 zugeschnitten; wenn der LM324 gemäß Bild 95 eingesetzt werden soll, muß die Leiterbahnführung geändert werden. 3. Probeaufbau mit der in Bild 19 dargestellten Montagehilfe und externe Funktionsüberprüfung 4. Einbau des Moduls in den Einschub und Verdrahtung 5. Verdrahtungskontrolle vor der abschließenden Funktionsüberprüfung 6. Funktionsüberprüfung 7. Einbau des Einschubes in den Gehäuserahmen 2

3.54 Auch der Nullspannungsnachsetzer wird auf einer Leiterplatte aufgebaut, die zugleich als Kühlkörperträger für T12 dient (vgl. *Bild 77).* Die Leiterplatte ist so ausgelegt, daß die für die Stabilisierung der negativen Hilfsspannung vorgesehenen Bauelemente mitbestückt werden können. Der Baustein arbeitet jedoch auch ohne R26 und D17 mit hoher Stabilität. Werden diese beiden Bauelemente daher fortgelassen, ist R26 durch eine Drahtbrücke zu ersetzen, der Platz für D17 bleibt frei. Als IS-Fassung empfiehlt es sich, eine 14-Pin-Version auf der Platine anzubringen. Die Fassung kann dann sowohl für die Aufnahme der Mini-

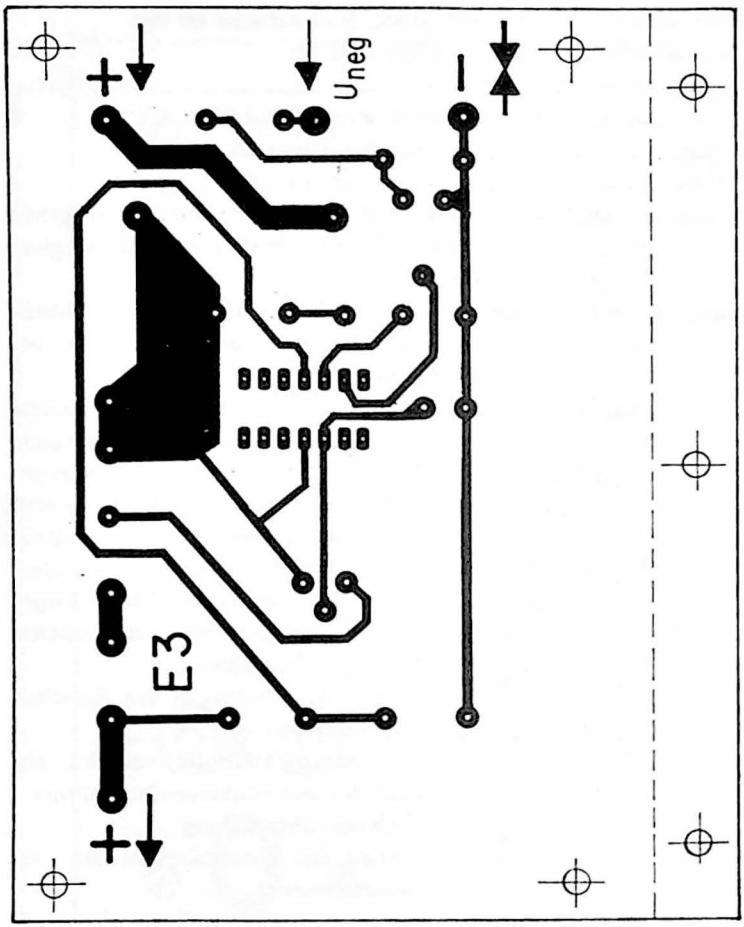


Bild 97. Platinenauslegung für den Nullspannungsnachsetzer E3, Ansicht von der Lötseite (Maßstab 1:1).

DIP-Ausführung als auch der DIL-14-Version des µA741 verwendet werden. Bei Einsatz des Mini-DIP-IC ist dieses so wie in *Bild 98* dargestellt in die Fassung einzusetzen. Wird eine Schutzdiode auf der Platine montiert, sollte auch hier ein Typ verwendet werden, der für einen Laststrom > 3 A geeignet ist, ohne besonders gekühlt werden zu müssen.

Zur Funktionsüberprüfung vor dem Einbau des fertig montierten Moduls in den Einschub bedienen wir uns wieder der Montagehilfe aus *Bild 19*. P13a wird mit der Platine verbunden, die Bohrungen für den Anschluß von Bu70 und 71 werden vorübergehend mit einer Drahtbrücke versehen.

An die Ausgangsbuchsen wird ein externer Spannungmesser angeschlossen; P13a wird in Mittelstellung, P13b auf positiven Anschlag (vgl. *Bild 94)* gebracht. Wird nun beispielsweise eine stabilisierte Gleichspannung von 15 V (aufbereitet über einen der Konstantspannungsregler E1) an den Eingang des Nullspannungsreglers gelegt und die negative Hilfsspannung an Bu73b eingespeist, muß sich die Ausgangsspannung mit P13a zwischen 12,9 V (bei eingefügter Schutzdiode) bzw. 13,5 V (ohne Schutzdiode) und einem Wert unterhalb 4 V kontinuierlich einstellen lassen. P13a wird am negativen Anschlag belassen (Ausgangsspannung < 4 V); mit P13b wird nun so nachgeregelt (Schleifer in Richtung auf den negativen Anschlag drehen), daß die Ausgangsspannung auf Null zurückgeht. Wird P13b zu weit gedreht, stellt sich eine negative Ausgangsspannung ein; der Schleifer ist dann wieder zurückzunehmen, bis der Spannungsmesser genau Null anzeigt. Wer die Ausgangsspannung mit einem exakt anzeigenden Digitalvoltmeter mißt, wird feststellen, daß sich das Potential am Ausgang tatsächlich auf genau .000 einstellen läßt.

Die aufgrund von Spannungsabfällen im Nullspannungsnachsetzer auftretende Differenz zwischen Ein- und Ausgangsspannung (maximal etwa 2,3 V) bedingt es, die Eingangsspannung jeweils mit etwa 3 V über der angestrebten Ausgangsspannung einzuspeisen. Sie darf jedoch höchstens 30 V betragen, weil sie zusammen mit dem negativen Speisespannungsanteil von 3,4 V gerade die höchstzulässige Speisespannung für den µA741 (34 V) erreicht.

Wir wollen den Nullspannungsnachsetzer nun auch noch unter Belastung prüfen. Dazu bleibt es bei der Eingangsspannung von 15 V, um die Verlustleistung an T12 und in der Variablen Last in Grenzen zu halten. An der Variablen Last wird ein Grenzstrom von 2,5 A eingestellt, der Laststromregler verbleibt jedoch noch in Nullstellung. Nach Anschluß an die Ausgangsbuchsen des Nullspannungsnachsetzers wird der Laststrom langsam erhöht. Die Ausgangsspannung verändert sich bis hin zu einem Laststrom von 2 A überhaupt nicht. Erst bei noch höherer Belastung geht

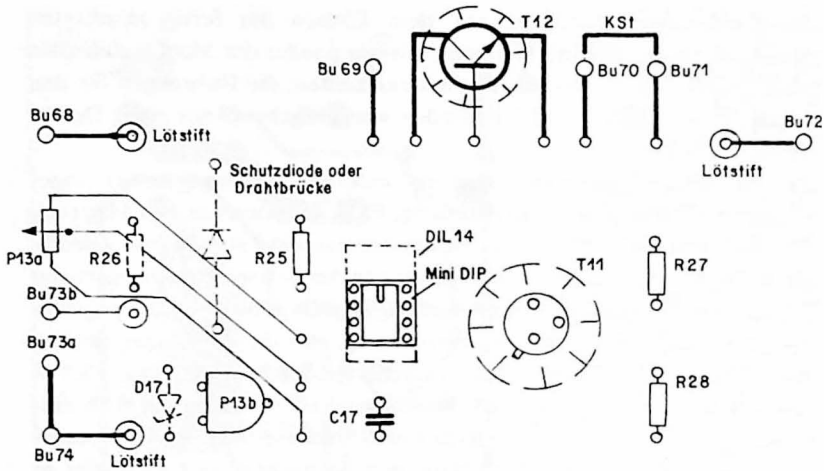


Bild 98. Bestückungsplan und Anschlußschema des Nullspannungsnachsetzers E3.

Stückliste E3 Nullspannungsnachsetzer,
Zusatzbaustein E3

Widerstände

1 Stück	R25	4K7
1 Stück	R26	4K7 (kann in Schaltung nach Bild 94 entfallen, wenn U_{neg} nicht stabilisiert wird; ist in Bild 95 aber erforderlich)
2 Stück	R27, 28	2K7
1 Stück	P13a	50K, linear
1 Stück	P13b	5 . . .22K, linear liegend

Kondensatoren

1 Stück	C17	100 pF

Halbleiter

1 Stück	T11	BC140 o.ä. NPN-Typ
1 Stück	T12	2N3055
1 Stück	IC5	µA741, DIL 14 oder Mini-DIP
1 Stück	D17	Zenerdiode 6,8 V/400 mW (kann entfallen, wenn U_{neg} nicht stabilisiert wird)
1 Stück		Schutzdiode, Laststrom ≥ 3 A ohne zusätzliche Kühlmaßnahmen

Spezialteile

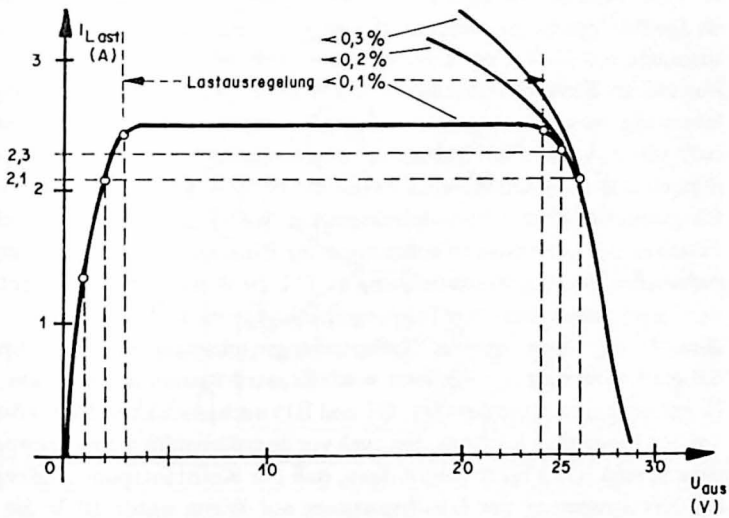
1 Stück	Hochleistungskühlkörper 1,5 . . .2,5 K/W
1 Stück	Kühlstern

Mechanische Teile

1 Stück		Leiterplatte gemäß Bild 97 (für Bestückung gemäß Schaltungen in Bild 94)
8 Stück	Bu68 . . .74	Buchse, vollisoliert, Innern Ø 4 mm, je 3 rot, 2 schwarz, 1 grün, 1 blau, 1 gelb (davon 1 rot, 1 schwarz als Apparateklemmen)
1 Stück		Skalenknopf mit Anzeigemarke
1 Stück	KSt	Kurzschlußstecker, Stiftabstand 19 mm, Stiftdurchmesser 4 mm
div.		Lötstifte
div.		Steckhülsen für Lötstifte

sie um einen geringen Betrag zurück. Bei 2,5 A Laststrom wurden vom Autor 0,135 V Spannungsabfall gemessen (Digitalvoltmeter, Eingangswiderstand 10 MOhm). Liegen die beim Nachbau gemessenen Werte in dieser Größenordnung (bei 0,15 V liegt die Lastausregelung bei 1 %), arbeitet der Regler im Normbereich (vgl. dazu auch *Bild 98 a)* und kann endgültig in den vorbereiteten Einschub eingebaut werden. Da die Verdrahtung des Einschubes recht einfach und übersichtlich gehalten werden kann, gestalten sich auch die abschließende Verdrahtungskontrolle und endgültige Funktionsüberprüfung problemlos. Danach kann

Bild 98 a. Belastbarkeit der Ausgangsspannung des Nullspannungsnachsetzers bei U_{ein} = 30 V (ohne Schutzdiode).



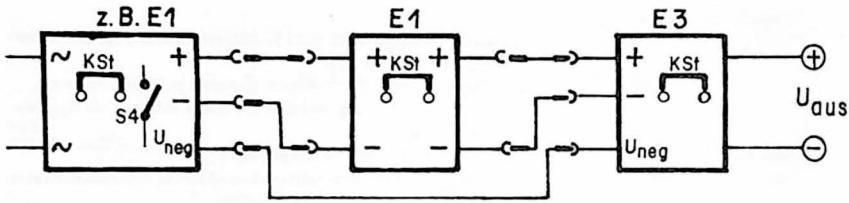


Bild 99 a. Einsatz des Nullspannungsnachsetzers (mit µA 741).

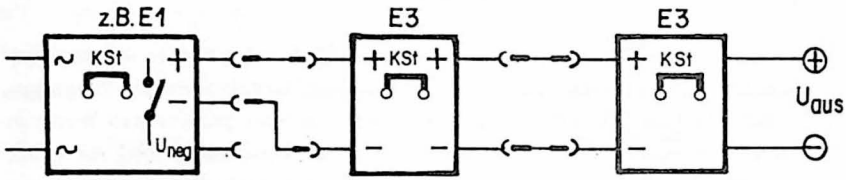


Bild 99 b. Einsatz des Nullspannungsnachsetzers (mit LM324).

auch dieser Baustein gebrauchsfertig in den Gehäuserahmen 2 eingefügt und im Laborbetrieb benutzt werden.

c. Anwendungsbeispiele für den Nullspannungsnachsetzer

3.55 Der Nullspannungsnachsetzer wird in der Laborpraxis vorwiegend im Spannungsbereich zwischen 0 und 30 V eingesetzt. Die Eingangsspannung soll 10 V nicht unterschreiten, weil dem µA741 sonst die erforderliche Betriebsspannung entzogen wird. Auch hohe Belastungen bilden die Ausnahme; meistens bleibt der Laststrom im Bereich unterhalb 100 mA. Wird der Nachsetzer dennoch einmal bei Ausgangsspannungen nahe 0 V unter hoher Belastung betrieben, können an seinem Längsregeltransistor Verlustleistungen bis zu 85 W auftreten. In solchen Fällen ist der Grundsatz zu beherzigen, die Eingangsspannung so weit zu reduzieren, daß die Verlustleistung an T12 20 W nicht überschreitet. In der Regel ist dies bei einer Eingangsspannung von 10 V der Fall.

Bild 99 zeigt nun, wie der Nullspannungsnachsetzer in einem Spannungsversorgungszug eingesetzt wird. Er wird ausnahmslos einem der Konstantspannungsregler (G1, G2 und E1) nachgeschaltet. Man könnte auf den Gedanken kommen, ihn auch vor dem Konstantspannungsregler einzusetzen. Dies führt jedoch dazu, daß der Konstantspannungsregler bei Herabregelung der Gleichspannung auf Werte unter 10 V die er-

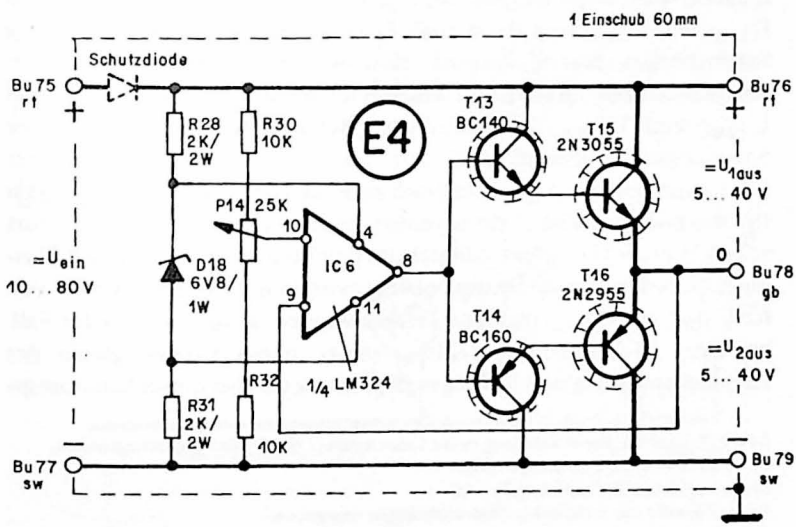
forderliche Betriebsspannung für den LM/μA723 einbüßt, was nicht Sinn der Sache sein kann.
Der Nullspannungsnachsetzer ist nicht dazu geeignet, auch symmetrische Ausgangsspannungen bis auf null Volt zurückzuregeln. Dazu müßte er dem Dualen Spannungsteiler nämlich vorgeschaltet werden und würde diesem bei Spannungen unterhalb 10 V ebenfalls die Betriebsspannung für den Operationsverstärker (vgl. *Bild 100,* IC 6) entziehen. Wie wir jedoch beim Bau des Dualen Spannungsteilers im nächsten Abschnitt sehen werden, ist es auch gar nicht erforderlich, den Nullspannungsnachsetzer bei kleinen symmetrischen Spannungen hinzuzuziehen, weil der Duale Spannungsteiler selbst in der Lage ist, Minimalspannungen bis zu ± 5,0 V zu liefern.

Der Duale Spannungsteiler E4

a. Schaltbildkurzbeschreibung

3.56 Der Duale Spannungsteiler ist ebenso wie der Nullspannungsnachsetzer ein Zusatzbaustein, der den Konstantspannungsreglern G1 und G2 bzw. E1 „nachgesetzt" wird. Er hat die Aufgabe, die asymmetrische

Bild 100. Schaltung des Dualen Spannungsteilers (Zusatzbaustein E4) 10 . . .80 V/2,5 A



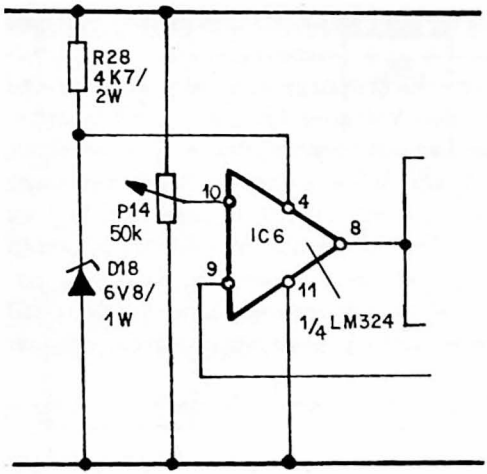
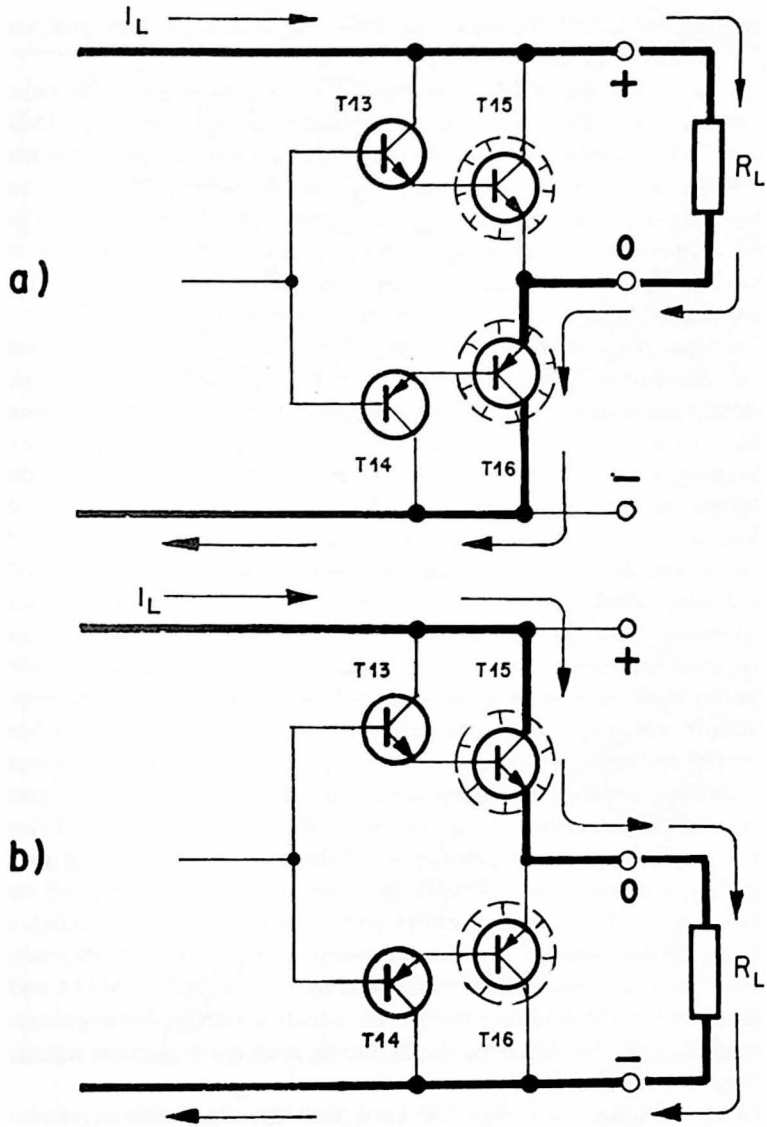


Bild 101. Abänderung der Schaltung in Bild 100 zur teilsymmetrischen Spannungsaufbereitung.

Eingangsspannung in eine symmetrische Ausgangsspannung umzusetzen. *Bild 100* zeigt die entsprechende Schaltung. Wird der zur Erzeugung der Referenzspannung benötigte Spannungsteiler aus R30, P14 und R32 wie in dieser Schaltung dimensioniert, teilt der Baustein die eingespeiste Eingangsspannung im Verhältnis 1:1, das bedeutet, die Teilspannungen U_{1aus} und U_{2aus} sind gleich groß. Dabei können mit P14 geringfügige Symmetriekorrekturen vorgenommen werden. Sollen jedoch auch teilsymmetrische Spannungen aufbereitet werden können, bei denen U_{1aus} und U_{2aus} unterschiedliche Beträge aufweisen, kann der Spannungsteiler gemäß *Bild 101* aus nur einem Potentiometer (50 KOhm) bestehen. Wird zugleich auch die Betriebsspannung für den IS Operationsverstärker IS6 asymmetrisch aufbereitet (R28 vergrößert seinen Wert, R31 entfällt), läßt sich das Potential an Bu78 zwischen Plus- und Minus-Eingangsspannung beliebig einstellen. Dadurch ergeben sich für U_{1aus} und U_{2aus} ungleiche Teilspannungen (ausgenommen der Fall, bei dem P14 genau auf $1/2U_{ein}$ steht), deren Summe gleich der Eingangsspannung ist. Die Eingangsspannung darf bei dieser Schaltungs-

Bild 102. (rechts) Stromverteilung in der Leistungsstufe des Dualen Spannungsteilers.
a) im positiven Teilspannungsbereich
b) im negativen Teilspannungsbereich
Es sind jeweils die technischen Stromrichtungen angegeben.


a)
I_L
T13
T15
+
R_L
0
T14
T16
−
b)
I_L
T13
T15
+
0
R_L
T14
T16
−

art höchstens 40 V betragen, da sonst die Betriebsspannungen von T13 . . .T16 überschritten würden.
Bei der Schaltung in *Bild 100* handelt es sich prinzipiell um einen Operationsverstärker mit komplementärem Leistungsausgang. Dazu sind die Transistoren T13 . . .T16 als Gegentaktverstärker geschaltet und ermöglichen so die Entnahme höherer Lastströme (bis 2,5 A). In der Leistungsstufe fällt den Transistoren T13 und T14 die Treiberfunktion zu, während die Transistoren T15 und T16 vom Laststrom durchflossen werden. Wie sich der Laststrom dabei im positiven und negativen Teilspannungsbereich verteilt, zeigt die Prinzipdarstellung in *Bild 102.*
Die Betriebsspannung für den Operationsverstärker LM324 wird über der Zenerdiode D18 symmetrisch abgegriffen und ist auf 6,8 V eingestellt. Dies erlaubt es, Eingangsspannungen bis herab zu 10 V im Verhältnis 1:1 zu symmetrieren. Durch diese Art der Betriebsspannungserzeugung wird außerdem eine wirksame Entkoppelung zwischen der Speisespannung der IS und der Eingangsspannung erreicht; deshalb kann die Eingangsspannung in einem weiten Bereich (10 . . .80V, bei der Auslegung des Spannungsteilers nach *Bild 101* jedoch nur 10 . . .40V) verändert werden, ohne die Betriebsspannung für IS6 jeweils anpassen zu müssen. Der Querstrom durch D18 beträgt je nach der Eingangsspannung zwischen 5 und 35 mA. Die Diode muß daher mit 400 mW, besser noch mit 1 W belastbar sein. Mit dem Dualen Spannungsteiler können stabilisierte und nicht stabilisierte Gleichspannungen gleichermaßen symmetriert werden. Wird er einem der Konstantspannungsregler des Universal-Spannungslabors nachgeschaltet, ist sein Ausgang zugleich kurzschlußfest. Vorsicht ist bei der Einspeisung nicht stabilisierter Eingangsspannungen geboten, weil dann keine Kurzschlußfestigkeit gegeben ist und damit eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, daß der Baustein bei Überlastung zerstört wird. Wer hier vorbeugen möchte, kann dies tun, indem er eine Überstromsicherung gemäß *Bild 103 a* oder *Bild 103 b* zwischenschaltet. Während in *Bild 103 a* die im LM324 noch ungenutzten Operationsverstärker als Schaltverstärker herangezogen werden, zeigt *Bild 103 b* wie die Sicherung auch mit Einzeltransistoren aufgebaut werden kann.
In der Schaltung nach *Bild 100* kann auch der Operationsverstärker µA741 eingesetzt werden. Das entsprechend abgewandelte Schaltbild zeigt *Bild 104.* In dieser Schaltung kann die Betriebsspannung für den

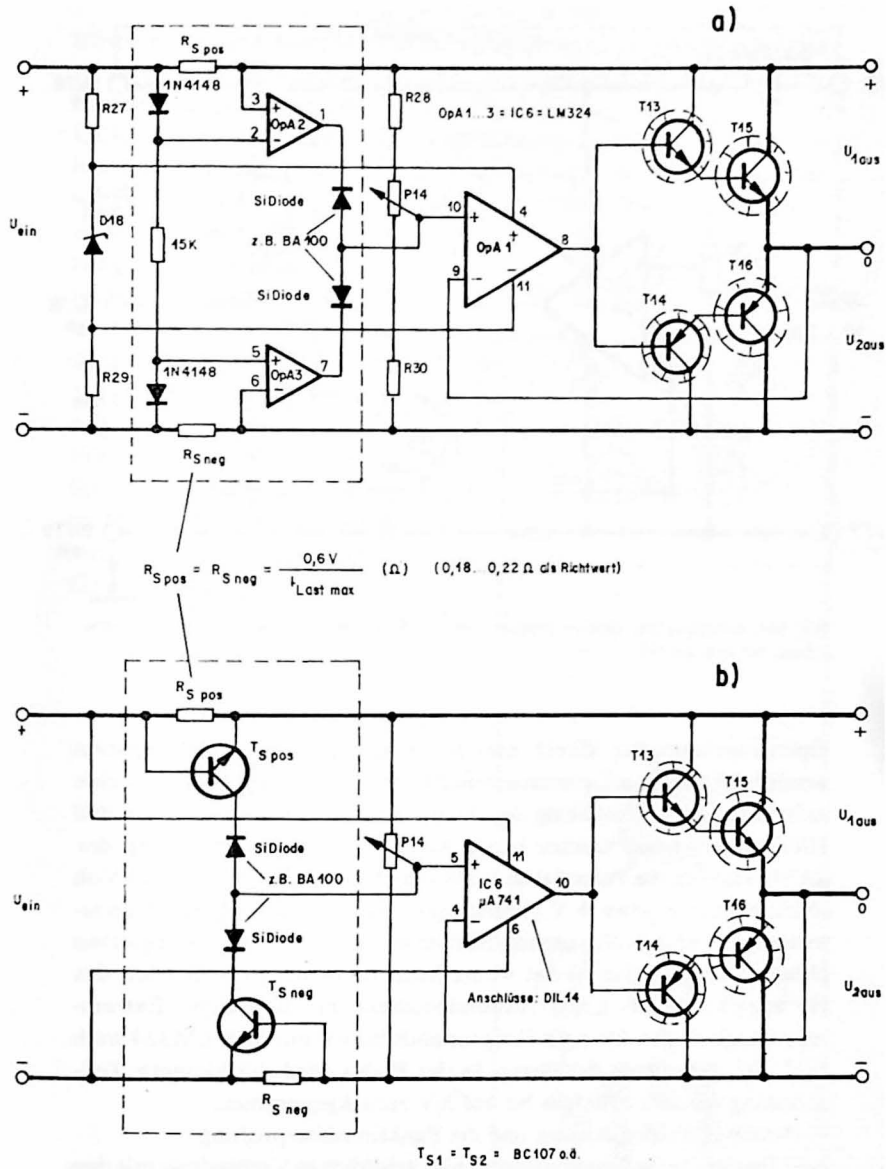


Bild 103. Kurzschlußsicherungen für den Dualen Spannungsteiler
a) mit Operationsverstärkern
b) mit einzelnen Transistoren

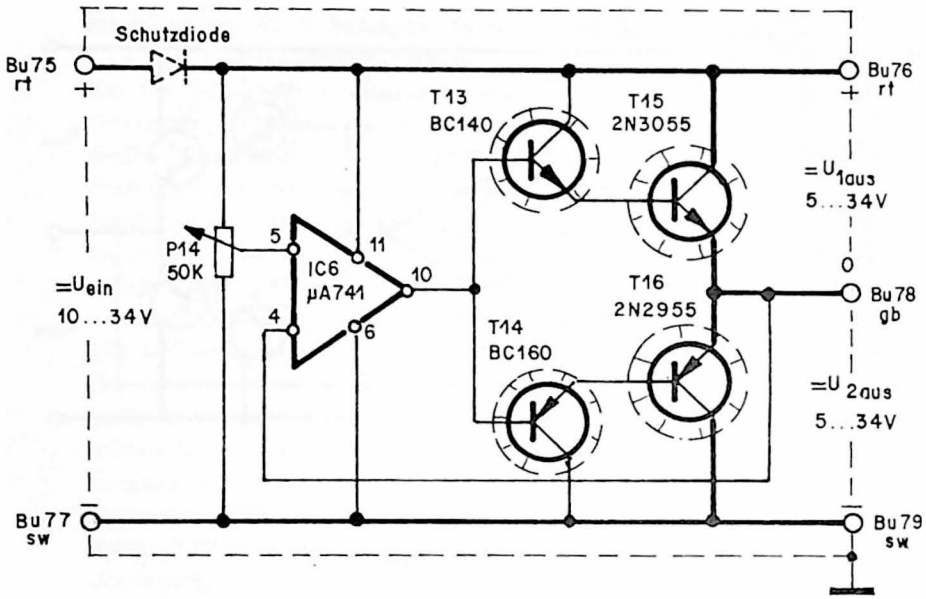


Bild 104. Schaltung des Dualen Spannungsteilers für teilsymmetrische Spannungsaufbereitung mit dem µA741.

Operationsverstärker direkt aus der Eingangsspannung abgegriffen werden. Der Referenzspannungsteiler ist mit P14 so ausgelegt, daß eine teilsymmetrische Einstellung der Ausgangsspannungen (analog zu *Bild 101)* vorgenommen werden kann. Aufgrund der Innenschaltung des µA741 läßt sich das Potential an Bu78 jedoch nicht ganz bis auf Null Volt sondern nur bis etwa 4 V zurückregeln. Hier denselben Kniff anzuwenden wie beim Nullspannungsnachsetzer (Einspeisen einer negativen Hilfsspannung an Pin 4) hat wenig Sinn, da es im Laborbetrieb des Hobbyelektronikers keine Anwendungsbereiche für solche Extremregelfähigkeit gibt. Dies gilt übrigens auch für die mit dem LM324 nach *Bild 101* aufgebaute Schaltung. In der Praxis wird die kleinere Teilspannung nämlich allenfalls bis auf 3 V zurückgenommen.

b. Hinweise für den Aufbau und die Funktionsüberprüfung

3.57 Da der Duale Spannungsteiler hauptsächlich in Verbindung mit den Konstantspannungsreglern G1, G2 und E1 des Universal-Spannungs-

labors eingesetzt wird, um Halbleiterschaltungen mit Speisespannungen zu versorgen, die symmetrisch sind, beschränkt sich die weitere Baubeschreibung dieses Bausteines auf die Schaltung nach *Bild 100.* Die Leiterplatte ist jedoch so ausgelegt, daß auch die Version nach *Bild 101* bestückt werden kann. Soll statt des LM324 der µA741 eingesetzt werden, muß die Leiterbahnführung der Platine dementsprechend geändert werden. Eine Änderung der Leiterplatte ist erst recht erforderlich, wenn auch noch eine der Kurzschlußsicherungen gemäß *Bild 103* zwischengeschaltet werden soll.

Für den Aufbau des Dualen Spannungsteilers gelten daher nachfolgende auf der nächsten Seite aufgeführten Grundlagen:

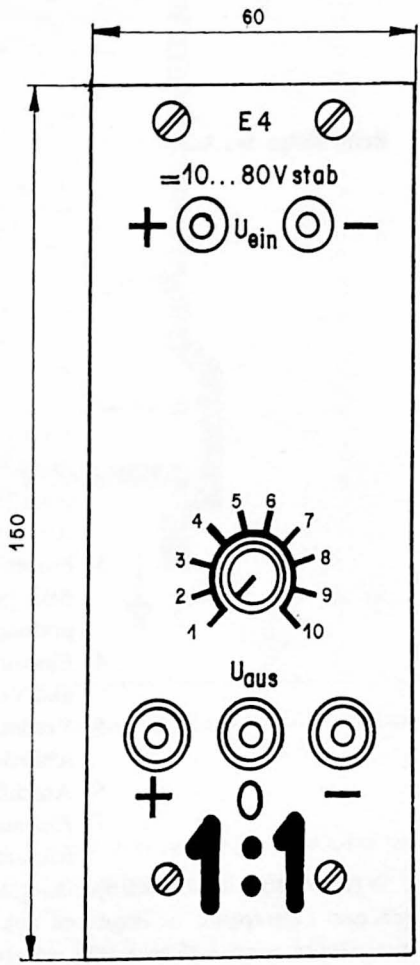


Bild 105. Frontplattenauslegung des Dualen Spannungsteilers E4.

– Leereinschub	1 Stück, Einbaubreite 60 mm
– Frontplattenauslegung	gemäß Bild 105
– Leiterplattenauslegung und -bestückung	gemäß Bild 106 und 107 a bzw. 107 b
– Bauelemente	gemäß Stückliste E4
– Anordnung der Bauelemente im Einschub	gemäß Bild 77, T15 und T16 werden gegeneinander isoliert auf einem gemeinsamen Kühlkörper montiert, der seinerseits über Abstandsrollen mit der Leiterplatte verschraubt wird
– Reihenfolge des Aufbaus	1. Aufbau des Leereinschubes einschließlich Frontplattenbeschriftung und -bestückung. Die Frontplattenbeschriftung richtet sich danach, ob der Baustein gemäß Bild 100 (Eingangsspannung 10 . . .80 V) oder Bild 101 (Eingangsspannung 10 . . .40 V) aufgebaut wird. 2. Herstellen und Bestücken der Leiterplatte. Die Bestückung kann gemäß Bild 107 a (Version aus Bild 100) oder gemäß Bild 107 b (Version aus Bild 101) erfolgen. 3. Probeaufbau mit der Montagehilfe aus Bild 19 und externe Funktionsüberprüfung 4. Einbau des Moduls in den Einschub und Verdrahtung im Einschub 5. Verdrahtungskontrolle vor der anschließenden Funktionsüberprüfung 6. Anschließende Funktionsüberprüfung 7. Einbau des Einschubes in den Gehäuserahmen 2

3.58 Der Aufbau des Dualen Spannungsteilers auf der in *Bild 106* vorgegebenen Leiterplatte ist insgesamt unkritisch. Die beiden Leistungstransistoren werden zweckmäßig auf einem gemeinsamen Kühlkörper

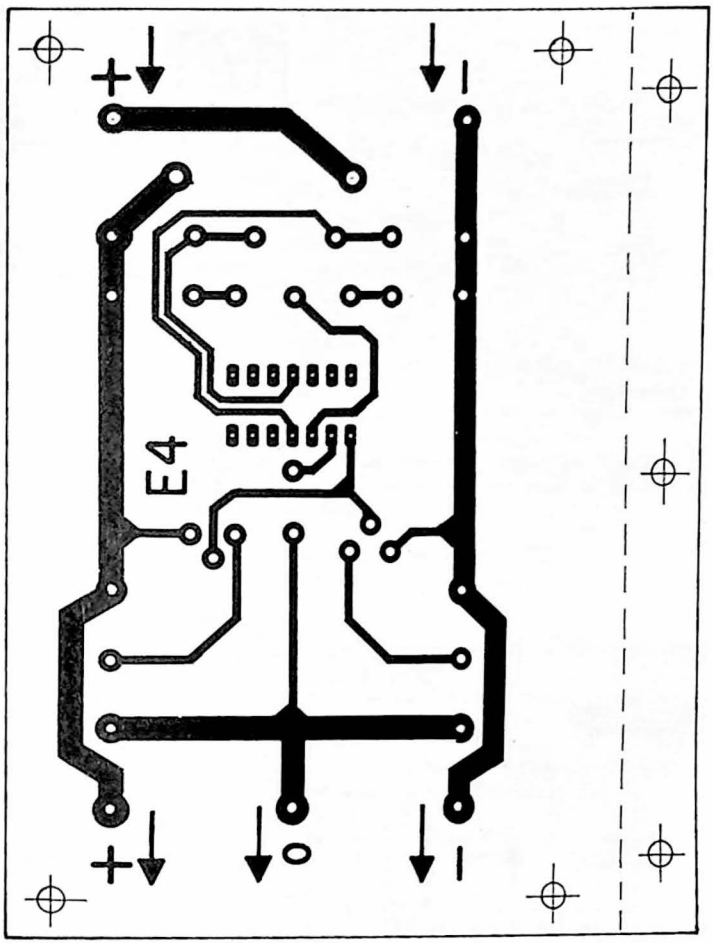


Bild 106. Platinenauslegung für den Dualen Spannungsteiler E4, Ansicht von der Lötseite (Maßstab 1:1) nach Bild 100.

montiert. Es sind Glimmerscheiben und Isoliernippel zu verwenden, um die Kollektoren der beiden Halbleiter gegeneinander zu isolieren. Getrennte Kühlkörper sind nur dann zu verwenden, wenn der Duale Spannungsteiler beispielsweise als Spannungsquelle für eine Modell-

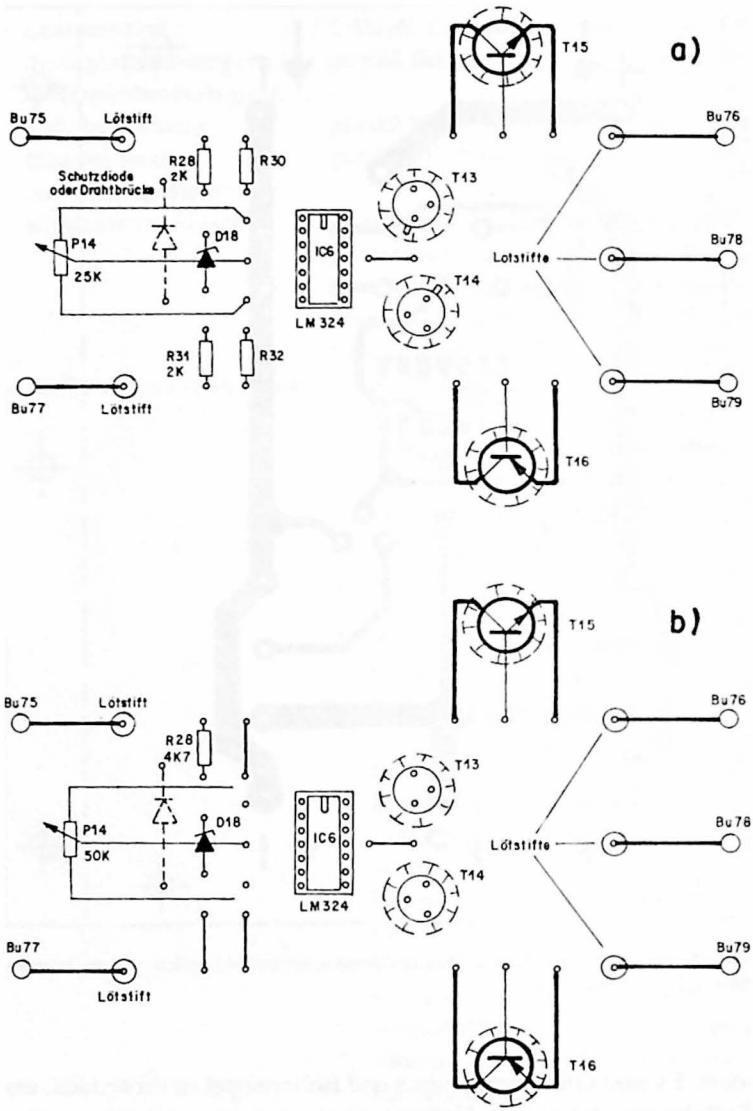


Bild 107. Bestückungsplan und Anschlußschema des Dualen Spannungsteilers E4
a) gemäß Schaltung, Bild 100
b) gemäß Schaltung, Bild 101

Stückliste E4 Dualer Spannungsteiler, Zusatzbaustein E4

Widerstände

2 Stück	R28, 31	2K/2W (R28 = 4K7 in Schaltung nach Bild 101)
2 Stück	R30, 32	10K
1 Stück	P14	25K (Trimmer oder Poti) bzw. 50K

Halbleiter

1 Stück	T13	BC140 o.ä. NPN-Typ
1 Stück	T14	BC160 o.ä. PNP-Typ
1 Stück	T15	2N3055 oder TIP 3055
1 Stück	T16	2N2955 oder TIP 2955
1 Stück	IC6	LM324
1 Stück	D18	Zenerdiode 6,8 V/1 W
1 Stück		Schutzdiode, Laststrom ≥ 3 A ohne zusätzliche Kühlmaßnahmen

Spezialteile

1 Stück		Hochleistungskühlkörper 1,5 K/W mit Bohrungen für 2 Leistungstransistoren; dazu 4 Isoliernippel und 2 Glimmerscheiben
oder		
2 Stück		Hochleistungskühlkörper 2,5 K/W
2 Stück		Kühlstern

Mechanische Teile

1 Stück		Leiterplatte gemäß Bild 106 (für Bestückung gemäß Bild 100 und 101 geeignet)
5 Stück	Bu75 . . .79	Buchse, vollisoliert, Innen Ø 4 mm, je 2 rot, 2 schwarz, 1 gelb (davon 1 rot, 1 schwarz, 1 gelb als Apparateklemmen)
1 Stück		Skalenknopf mit Anzeigemarke (wenn P14 nicht als Schraubenzieherregler ausgeführt wird)
div.		Lötnägel
div.		Steckhülsen für Lötstifte

eisenbahnsteuerung verwendet wird, die man häufiger mit mehreren gleichzeitig im Betrieb befindlichen Lokomotiven belastet. Wird der Spannungsteiler gemäß *Bild 100* bestückt, kann für P14 ein Reglertyp für Frontplattenbefestigung mit Schraubenzieherantrieb eingesetzt werden; es kann jedoch auch ein mit der Hand verstellbares und dann mit Bedienungsknopf zu versehendes Potentiometer verwendet werden. Nach Fertigstellung des Spannungsteilermoduls greifen wir wieder auf die in *Bild 19* enthaltene Montagehilfe zurück und bereiten den Baustein für die externe Funktionsüberprüfung vor. Dazu bedarf es lediglich eines

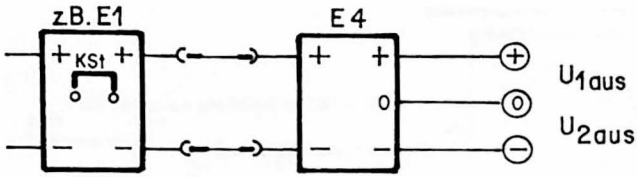


Bild 108. Einsatz des Dualen Spannungsteilers E4 als Gleichspannungsteiler für stabilisierte Gleichspannungen.

Spannungsmessers, den wir zunächst an die Buchsen Bu76/78 anklemmen. Wird jetzt eine Eingangsgleichspannung von 20 V angelegt, muß sich am Ausgang je nach Stellung von P14 eine Teilspannung um 10 V einstellen; P14 wird jetzt so nachgeregelt, daß am Ausgang genau 10 V gemessen werden. Die Gegenkontrolle erfolgt, indem wir den Spannungsmesser an die Buchsen Bu87 (Plus-Spannungsmesser) und Bu79 (Minus-Spannungsmesser) legen. Wenn die Eingangsspannung genau 20 V beträgt, muß jetzt auch diese Teilspannung 10 V betragen.
Nun stellen wir an der Variablen Last einen maximalen Laststrom von 2,5 A ein, wobei der Regler P5b noch in Nullstellung bleibt. Dann schließen wir die Variable Last an die Buchsen Bu78/79 mit der gleichen Polung wie beim Spannungsmesser an. Beim Hochregeln von P5b muß nun ein Laststrom fließen; dabei erwärmt sich T15. Geht die Ausgangsspannung bei Belastung schlagartig auf Null zurück, ist T13 oder T15 defekt und muß ausgewechselt werden. Dieselbe Belastungsprüfung wiederholen wir nun auch an den Ausgangsbuchsen Bu76/78. Unter Belastung erwärmt sich nun T16. Sollte die Ausgangsspannung hier bei Belastung auf Null zurückgehen, ist mit den Transistoren T14 oder T16 etwas nicht in Ordnung. Der Duale Spannungsteiler arbeitet dann ordnungsgemäß, wenn beide Teilspannungsausgänge voll belastbar sind. Schließlich prüfen wir noch die Kurzschlußfestigkeit. Dazu verbinden wir nacheinander Bu76/78, Bu78/79 und Bu76/79 mit einer Schaltschnur. In allen drei Fällen geht die Ausgangsspannung infolge des Ansprechens der Kurzschlußsicherung im vorgeschalteten Konstantspannungsregler auf Werte um 0 Volt zurück, steht jedoch bei Aufhebung des Kurzschlusses sofort wieder in voller Höhe an den Ausgangsbuchsen an. Die Funktionsüberprüfung ist damit abgeschlossen, so daß der Modul in den vorbereiteten Einschub eingebaut und die einschubinterne Verdrahtung

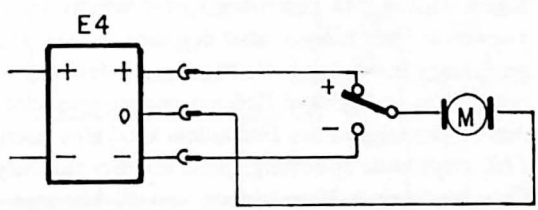
vorgenommen werden kann. Da auch diese Verdrahtung sehr einfach gehalten ist, kann die abschließende Verdrahtungskontrolle mühelos durchgeführt werden. Nachdem der fertiggestellte Einschub nochmals auf ordnungsgemäße Funktion überprüft worden ist, steht dem Einbau des Bausteines in den Gehäuserahmen 2 nichts mehr im Wege. Zur Komplettierung der Einschübe im Gehäuserahmen 2 fehlt jetzt nur noch der Hochkonstantspannungsregler E5.

c. Anwendungshinweise für den Dualen Spannungsteiler E5

3.59 Der Duale Spannungsteiler wird in der Hobbylabor-Praxis vorwiegend im Spannungsbereich bis ± 20 V eingesetzt. Er dient vorrangig dazu, Halbleiterschaltungen, in denen Operationsverstärker eingesetzt sind, mit symmetrischen Speisespannungen zu versorgen. Die Lastströme, die dabei zu erwarten sind, liegen daher zumeist im mA-Bereich. Dieses Anwendungsgebiet bringt es mit sich, daß der Spannungsteiler fast ausschließlich im Zusammenhang mit den Konstantspannungsreglern G1, G2 und E1 und dann als „Nachsetzer" zwischengeschaltet wird. Die in *Bild 108* enthaltene Darstellung stellt somit den Standardeinsatz dieses Bausteines dar.

Der Regler kann vorteilhaft natürlich auch überall dort eingesetzt werden, wo eine Spannungsquelle für Gleichstromkleinmotoren benötigt wird, durch welche Drehrichtungsänderungen auf einfache Weise gesteuert werden können. *Bild 109* zeigt ein Beispiel für eine derartige Schaltung. Versierte Modelleisenbahner werden darüberhinaus auch sofort erkennen, daß sich der Duale Spannungsteiler sehr gut als Grundbaustein für ein elektronisch geregeltes Fahrpult eignet. Dem Entwicklungseifer steht in dieser Richtung nichts im Wege.

Bild 109. Beispiel für den Einsatz des Dualen Spannungsteilers zur Drehrichtungsänderung eines Kleinmotors.



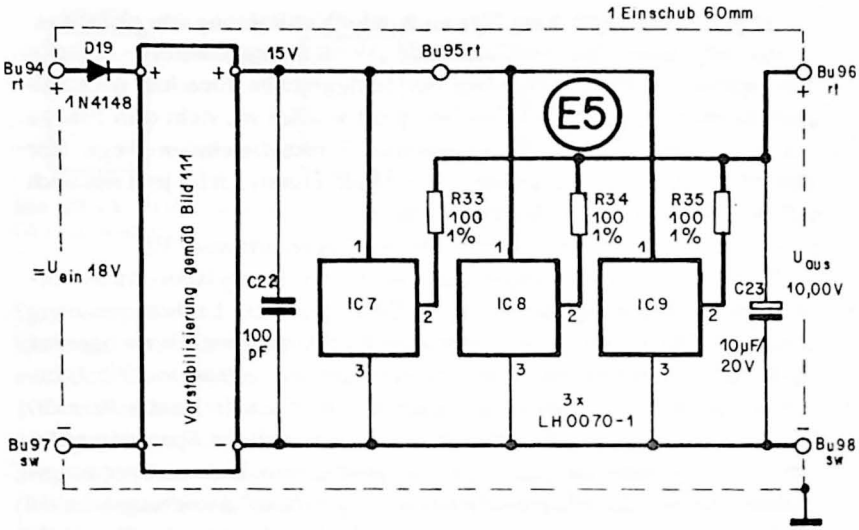


Bild 110. Schaltung des Hochkonstantspannungsreglers (Zusatzbaustein E5) 10,00 V/30 mA.

Der Hochkonstantspannungsregler E5

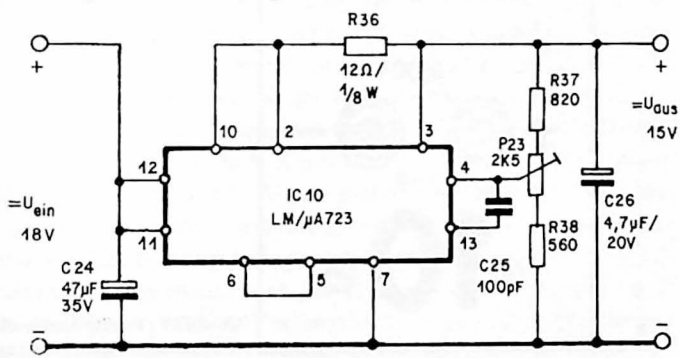
a. Schaltbildkurzbeschreibung

3.60 Mit dem Bau eines Hochkonstantspannungsreglers für eine Festspannung von 10,00 V wollen wir den Schlußstrich unter den Aufbau unseres Labornetzgerätes ziehen. Dieser Baustein wurde deshalb in das Universal-Spannungslabor einbezogen, weil sich viele Freizeitelektroniker immer stärker dem Selbstbau digital anzeigender Meßgeräte (Strom-/Spannungsmesser, Funktionsgeneratoren, Frequenzzähler usw.) widmen und dazu über ein hochgenaues Spannungsnormal verfügen müssen. Mit dem integrierten Schaltkreis LH0070-1H steht ein zwar nicht ganz billiger, aber dennoch für den angestrebten Zweck gut geeigneter Baustein zur Verfügung, mit dem sich ohne allzugroßen Aufwand eine hochgenaue Referenzspannungsquelle aufbauen läßt. Nach den Applikationen des Herstellers kann eine nach dem Schaltbild, *Bild 110,* aufgebaute Spannungsquelle mit drei parallelgeschalteten IS dieses Typs nach einer Vorwärmzeit von 30 Minuten eine 10-V-Spannung

liefern, die für alle Anwendungsfälle in der Hobbyelektronik mit hoher Wiederkehrgenauigkeit reproduzierbar ist.
Jeder der in der Schaltung eingesetzten LH0070-1H verfügt über eine integrierte Überstromsicherung, so daß der Ausgang des Reglers kurzschlußfest ist. In der angegebenen Version kann der Ausgang bis zu 30 mA belastet werden, d.h. der Lastwiderstand sollte mindestens 2,5 kOhm haben. Beim Aufbau des Reglers sind die in der Stückliste E5 angegebenen Bauteiletoleranzen genau einzuhalten, um die angestrebte Genauigkeit der Ausgangsspannung zu gewährleisten.
Zur Erzeugung der Betriebsspannung für die IS7, 8 und 9 dient eine mit dem µA723 aufgebaute Konstantspannungsquelle gemäß *Bild 111*, deren Ausgangsspannung auf 15 V eingestellt wird. Da der Hochkonstantspannungsquelle nur geringe Ströme entnommen werden, bedarf es bei der Vorstabilisierung nach *Bild 111* keiner externen Beschaltung des µA723 mit externen Leistungstransistoren, da dieser Baustein einen Laststrom bis etwa 130 mA zuliefern vermag. Der Fühlerwiderstand ist mit 12 Ohm so dimensioniert, daß IS 10 bei 50 mA Laststrom in den Sperrbetrieb steuert. Wer ein übriges für die Genauigkeit seiner Hochkonstantspannungsquelle tun will, speist die Sekundärwechselspannung nicht über einen der Netzgleichrichterzüge C1 . . .3 ein, sondern setzt dazu ein separates Kleinnetzteil gemäß *Bild 112* ein.
Die Netzspannungsversorgung für den Transformator kann über einen der noch freien Anschaltpunkte des Netzspannungsverteilers erfolgen.

b. Hinweise zum Aufbau und zur Funktionsüberprüfung

Bild 111. Schaltung der Vorstabilisierung für die Schaltung in Bild 100.



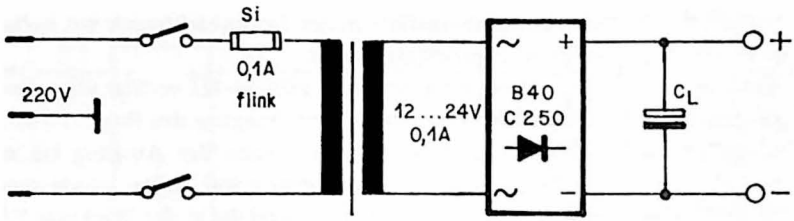


Bild 112. Kleinnetzteil für den Hochkonstantspannungsregler E5.

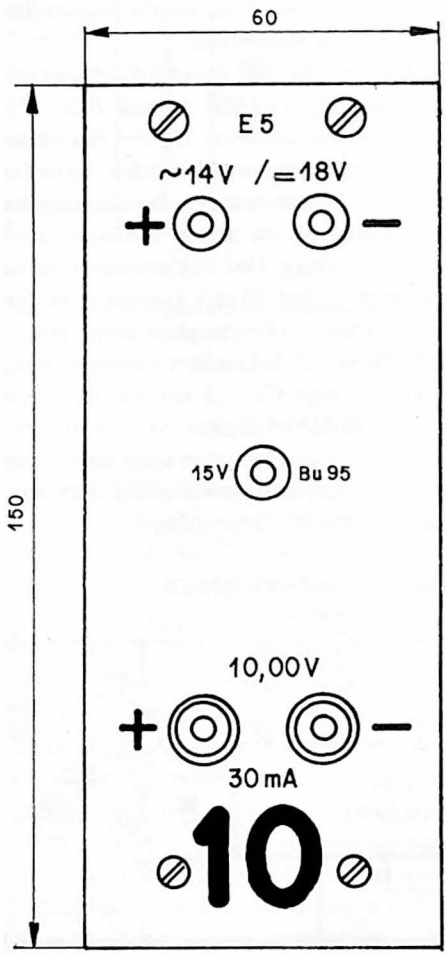


Bild 113. Frontplattenauslegung des Hochkonstantspannungsreglers E5.

3.61 Für den Aufbau des Hochkonstantspannungsreglers E5 gelten neben den Schaltbildern, *Bild 110* und *111*, die folgenden Grundlagen:

- Leereinschub — 1 Stück, Einbaubreite 60 mm
- Frontplattenauslegung — gemäß Bild 113
- Leiterplattenauslegung und -bestückung — gemäß Bild 114 und 115
- Bauelemente — gemäß Stückliste E5
- Anordnung der Bauelemente im Einschub — gemäß Bild 77, jedoch ohne Hochleistungskühlkörper
- Reihenfolge des Aufbaus
  1. Aufbau des Leereinschubes einschließlich Frontplattenbeschriftung und -bestückung
  2. Herstellen und Bestücken der Leiterplatte
  3. Externe Funktionsüberprüfung
  4. Einbau der Leiterplatte in den Einschub und einschubinterne Verdrahtung
  5. Verdrahtungskontrolle vor der abschließenden Funktionsüberprüfung
  6. Abschließende Funktionsüberprüfung
  7. Einbau des Einschubes in den Gehäuserahmen 2

3.62 Für den Hochkonstantspannungsregler wurde ebenfalls eine Leiterplatte entwickelt, um den Aufbau des Bausteines zu vereinfachen. Für IC10 wird eine DIL-Fassung mit 14 Pin, für die IS 7,8 und 9 eine Fassung T05 auf der Leiterplatte vorgesehen. Bevor die IS 7,8 und 9 in die Fassungen eingesetzt werden, ist die Vorstabilisierung komplett aufzubauen und auf Funktionsfähigkeit zu prüfen (Stabilität der Ausgangsspannung unter I_{Last} = 40 mA, Kurzschlußfestigkeit). Anschließend ist die Ausgangsspannung auf 15 V einzustellen. Nachdem dann auch die übrigen passiven Bauelemente bestückt worden sind, werden zuletzt die IC 7,8 und 9 in ihre Fassungen eingesetzt. Wird nun eine 18-V-Eingangsgleichspannung eingespeist, muß die Ausgangsspannung exakt 10 V betragen. Im Mustergerät des Verfassers wurden mit einem Digitalvoltmeter (Eingangswiderstand 10 MOhm) auch 30 Minuten nach Inbetrieb-

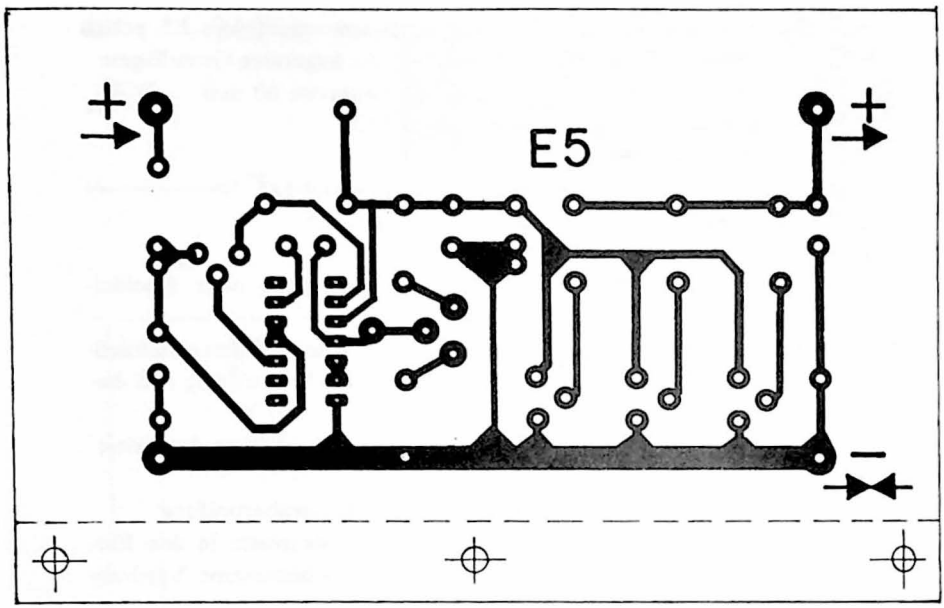
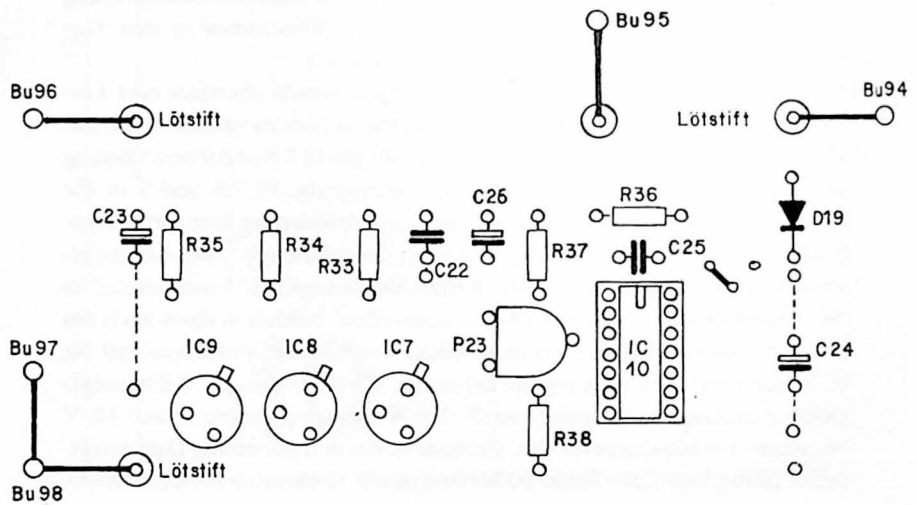


Bild 114. Platinenauslegung für den Hochkonstantspannungsregler E5, Ansicht von der Lötseite (Maßstab 1:1) nach Bild 110 und 111.

Bild 115. Bestückungsplan und Anschlußschema des Hochkonstantspannungsreglers E5.



Stückliste E5 Hochkonstantspannungsregler,
Zusatzbaustein E5 (ohne Bild 112)

Widerstände		
3 Stück	R33, 34, 35	100 Ohm/1 % Metallfilm
1 Stück	R36	12 Ohm/1/8 W
1 Stück	R37	820 Ohm
1 Stück	R38	560 Ohm
1 Stück	P23	2K5, Trimmer/liegende Montage
Kondensatoren		
1 Stück	C22	100 pF, Keramik
1 Stück	C23	10 µF/20 V Elyt (Tantal)
1 Stück	C24	47 µF/35 V Elyt
1 Stück	C25	100 pF, Keramik
1 Stück	C26	4,7 µF/20 V Elyt (Tantal)
Halbleiter		
1 Stück	D19	Si-Diode, Universaltyp z.B. 1N4148
3 Stück	IC7, 8, 9	LH0070-1
1 Stück	IC10	LM oder µA723
Mechanische Teile		
1 Stück		Leiterplatte gemäß Bild 114
5 Stück	Bu94 . . .98	Buchse, vollisoliert, Innen Ø 4 mm, je 3 rot, 2 schwarz (davon 1 rot und 1 schwarz als Apparateklemmen)
div.		Lötnägel
div.		Steckhülsen für Lötnägel

nahme keine Spannungsabweichungen gegenüber dem Einschaltwert mehr gemessen.

Die betriebsfertige Leiterplatte wird senkrecht im Einschub montiert und mit den Buchsen an der Frontplatte verdrahtet. Hierzu ist kein extra dicker versilberter Schaltdraht erforderlich; es reicht versilberter Schaltdraht mit einem Durchmesser von 0,5 mm aus. Der fertig verdrahtete Einschub wird schließlich nochmals auf Funktionsfähigkeit geprüft und dann als letzter Baustein in den Gehäuserahmen 2 eingesetzt. Das Schaltfeld des Universal-Spannungslabors ist damit vollständig aufgebaut.

Für den Hochkonstantspannungsregler werden keine Hinweise zur Anwendung mehr hinzugefügt, weil der Zweck des Bausteins in der Schaltbildbeschreibung hinlänglich erläutert wurde und somit für sich selbst spricht. Er wird dazu gemäß *Bild 116* mit einer nichtstabilisierten Gleich-

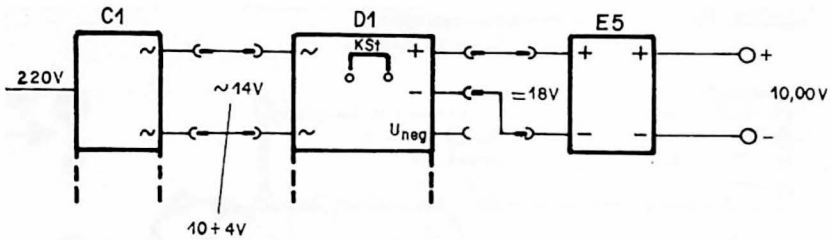


Bild 116. Anschluß des Hochkonstantspannungsreglers an eine 18-V-Spannung.

spannung von 18 V versorgt und liefert nach einer kurzen Vorwärmzeit (zwischen 15 und 30 Minuten) die erwartete hochkonstante Ausgangsspannung.

IV. Inbetriebnahme und Erweiterungsmöglichkeiten

1. Die Inbetriebnahme des Universal-Spannungslabors als Gesamtanlage

4.1 Obwohl im Verlaufe des Aufbaus der einzelnen Bausteine unseres Labornetzgerätes sicherlich bereits ein Platz im Hobbylabor „ausgespäht" worden ist, an dem das Gerät handhabungsgerecht aufgebaut stehen wird, sollen zum Schluß einige Hinweise zur Inbetriebnahme zusammengefaßt werden.
Das Gerät ist nach Möglichkeit so zu plazieren, daß die beiden Gehäuserahmen übereinandergestellt werden können und mit den Frontplatten zum Arbeitsplatz weisen. Der Blick soll genau senkrecht auf die Frontplatten fallen, um die Meßinstrumente der Variablen Last und des Strom-/Spannungsmessers exakt ablesen zu können. Bei der Aufstellung des Schaltfeldes ist sorgfältig darauf zu achten, daß zwischen dem Gerät

und der angrenzenden Wand genügend Zwischenraum bleibt, um die im Gerät entstehende Wärme unbehindert abführen zu können. Wer den Wärmeaustausch beschleunigen will, kann in die rechte Seitenwand beider Gehäuserahmen (von vorne gesehen) je einen kleinen Lüfter einbauen. Herrscht in dem Hobbylabor eine hohe Luftfeuchtigkeit, ist angeraten, kleine Beutel mit hygroskopischer Substanz in den Gehäuserahmen zu verteilen.

Wenn das Laborgerät nicht nur im Hobbylabor, sondern auch zur Speisung der Eisenbahnanlage im Kinderzimmer oder vorübergehend in der Garage (zum Aufladen der Autobatterie) eingesetzt werden soll, kann es zweckmäßig sein, dieses von vornherein auf einem fahrbaren Labortisch aufzustellen, den man ggf. mit einfachen Mitteln selbst aufbauen kann. Auf oder an diesem Tisch können dann auch gleich die verschiedenen Schaltschnüre in Kabelkämmen bereitgehalten werden.

4.2 Für die Inbetriebnahme des Universal-Spannungslabors, insbesondere die Zusammenschaltung der einzelnen Bausteine, sind eine Reihe von Regeln zu beherzigen, die konsequent eingehalten und auch dann noch beachtet werden müssen, wenn wir über zunehmende Erfahrung im Umgang mit dem Gerät verfügen. Anderenfalls erhöht sich die Gefahr von Schaltfehlern bei der Zusammenstellung der einzelnen Spannungsversorgungszüge. Überlastung von einzelnen Baugruppen und schlimmstenfalls sogar Zerstörung von Bausteinen können die Folge sein. Beachten wir jedoch die nachfolgenden Regeln, ist das Gerät aufgrund der Zuverlässigkeit seiner Einschübe eine große Hilfe bei so manchem Freizeitexperiment.

1. Regel Die einzelnen Bausteine dürfen nur bei ausgeschalteter Netzspannung zusammengeschaltet werden.

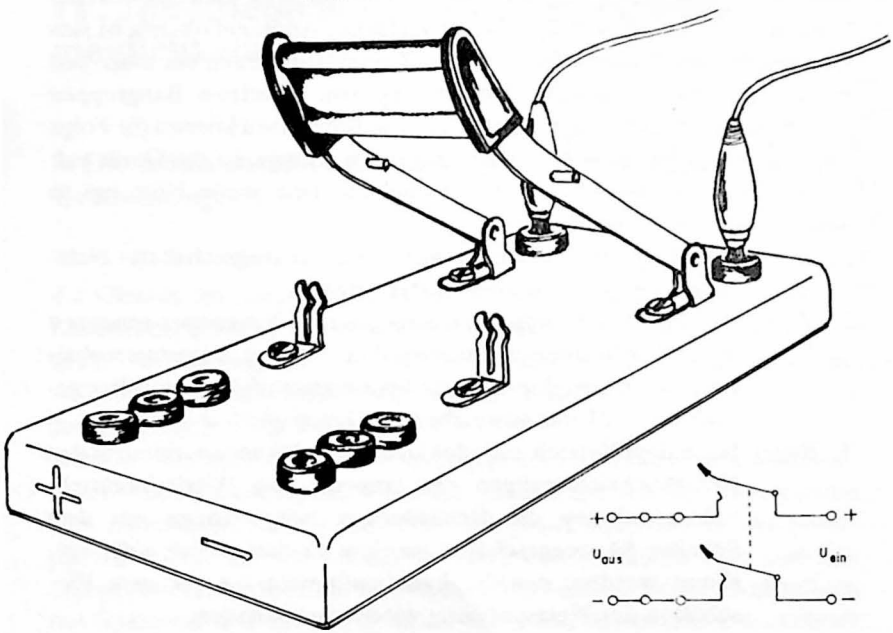
2. Regel Die auf den Frontplatten angegebenen Eingangsspannungen dürfen nicht überschritten werden. Vor der Zusammenschaltung der Bausteine sind die Spannungsverhältnisse daher gemäß Nr. 3.21 mit ausreichender Genauigkeit abzuschätzen.

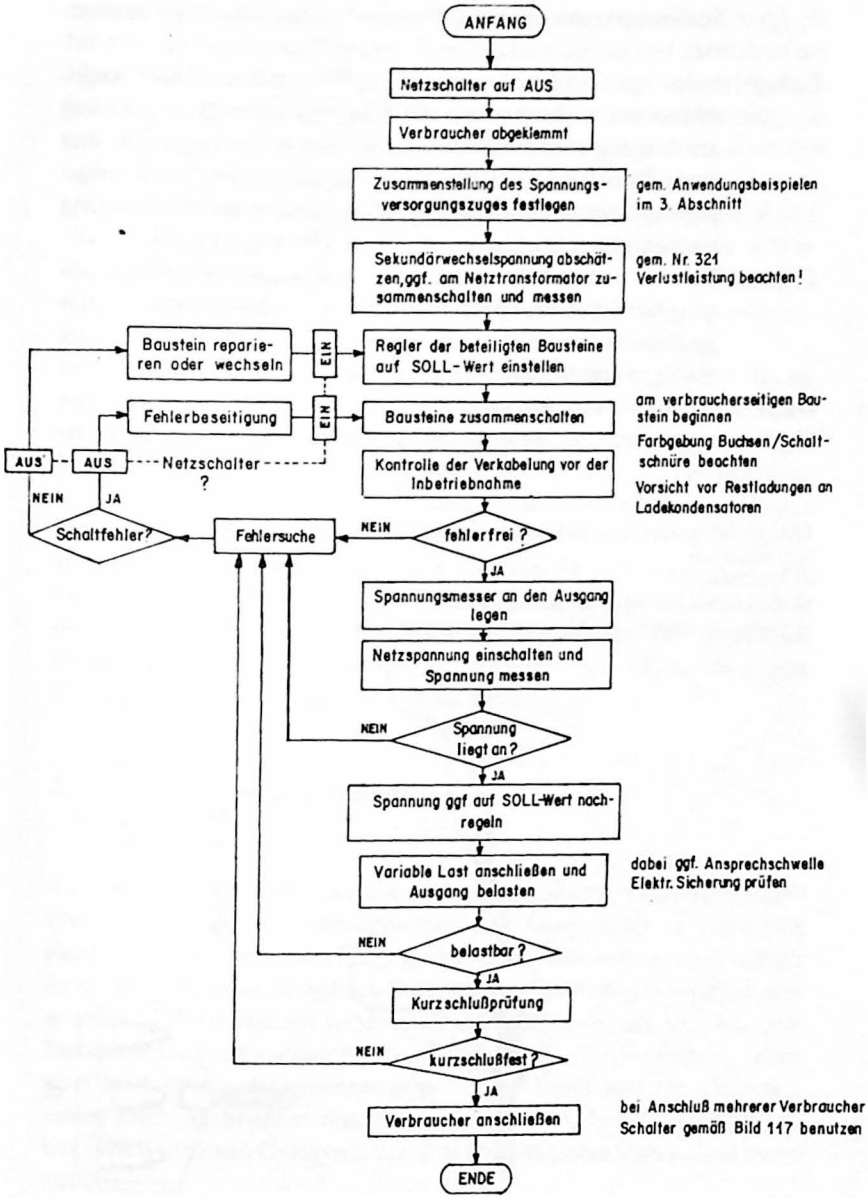
3. Regel Nach dem Betrieb entladen sich die Ladekondensatoren in den Netzgleichrichterzügen nur langsam. Bei Wiederinbetriebnahme können die Restladungen beispielsweise mit dem Schalter S4 weggeschaltet werden. Es darf jedoch nicht versäumt werden, den/die Ladekondensator/en vor dem Einschalten der Netzspannung wieder zuzuschalten.

Bild 118. (rechts) Verfahrensablauf bei der Zusammenschaltung von Bausteinen des Universal-Spannungslabors zu Spannungsversorgungszügen.

4. *Regel* Mit dem Zusammenschalten der Bausteine wird immer vom verbraucherseitigsten Baustein her begonnen. Der jeweilige Spannungsversorgungszug erhält so – falls doch einmal übersehen wird, die Netzspannung abzuschalten – erst dann Eingangsspannung, wenn die Schaltbrücke zum Netztransformatoreinschub gesteckt wird.
5. *Regel* Die Farbgebung der beim Zusammenschalten benutzten Schaltschnüre richtet sich nach der Farbgebung der netzseitigen Ausgangsbuchsen bzw. Ausgangsbuchsen des vorweggeschalteten Bausteines.
6. *Regel* Vor dem Einschalten ist die gesamte Verkabelung auf evtl. Schaltfehler zu überprüfen. Dies gilt besonders, wenn mehrere

Bild 117. Beispiel eines zweipoligen Hebelschalters.




ANFANG
Netzschalter auf AUS
Verbraucher abgeklemmt
Zusammenstellung des Spannungsversorgungszuges festlegen
gem. Anwendungsbeispielen im 3. Abschnitt
Sekundärwechselspannung abschätzen, ggf. am Netztransformator zusammenschalten und messen
gem. Nr. 321 Verlustleistung beachten!
Baustein reparieren oder wechseln
EIN
Regler der beteiligten Bausteine auf SOLL-Wert einstellen
Fehlerbeseitigung
EIN
Bausteine zusammenschalten
am verbraucherseitigen Baustein beginnen
AUS
AUS
Netzschalter ?
Kontrolle der Verkabelung vor der Inbetriebnahme
Farbgebung Buchsen/Schaltschnüre beachten
Vorsicht vor Restladungen an Ladekondensatoren
NEIN
JA
Schaltfehler?
Fehlersuche
NEIN
fehlerfrei ?
JA
Spannungsmesser an den Ausgang legen
Netzspannung einschalten und Spannung messen
NEIN
Spannung liegt an?
JA
Spannung ggf auf SOLL-Wert nachregeln
Variable Last anschließen und Ausgang belasten
dabei ggf. Ansprechschwelle Elektr. Sicherung prüfen
NEIN
belastbar ?
JA
Kurzschlußprüfung
NEIN
kurzschlußfest ?
JA
Verbraucher anschließen
bei Anschluß mehrerer Verbraucher Schalter gemäß Bild 117 benutzen
ENDE

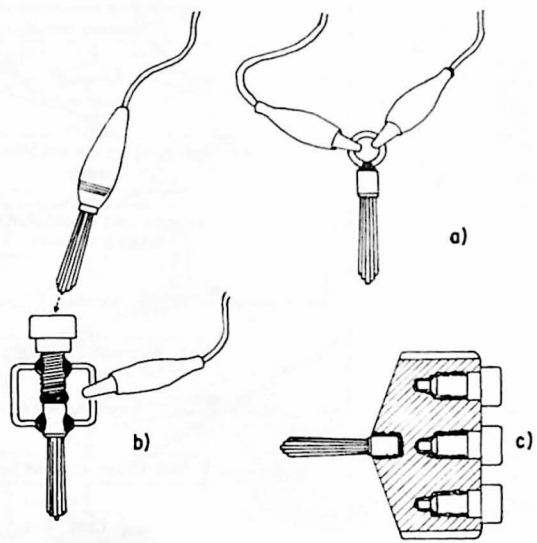
Spannungsversorgungszüge gleichzeitig betrieben werden sollen.

7. *Regel* Jeder Spannungsversorgungszug wird zunächst ohne angeschlossenen Verbraucher in Betrieb genommen. Die Spannung am Ausgang wird auf den erforderlichen Wert eingestellt und unter Belastung (Variable Last) geprüft. Der Belastungsprüfung folgt eine Kurzschlußprüfung. Erst wenn der Ausgang kurzschlußfest ist, wird der Verbraucher angeklemmt.

8. *Regel* Werden mehrere Verbraucher an demselben Spannungsausgang betrieben oder kommt es darauf an, diese Verbraucher gleichzeitig an die Betriebsspannung zu legen, ist es zweckmäßig, einen Schalter gemäß *Bild 117* einzufügen.

Damit wir uns – besonders am Anfang – mit dem Einhalten dieser Regeln etwas leichter tun, sind sie in Form eines Ablaufschemas noch-

Bild 119. Adapter für das Anschalten von Verbrauchern und Meßgeräten an das Universal-Spannungslabor.
a) Klemmöse
b) Steckbuchse mit doppelseitiger Klemmöse
c) Doppeltkaschierte Leiterplatte mit eingelötetem Stecker und Buchsen



mals in *Bild 118* zusammengefaßt. Die dort dargestellte Schrittfolge gilt für alle erdenklichen Fälle der Zusammenschaltung von Bausteinen des Universal-Spannungslabors. Sie hat daher den Charakter einer kurzgefaßten Bedienungsanleitung. Wer ganz sicher gehen will, überträgt sie auf ein etwas größeres Format und bringt sie gut sichtbar über dem Labornetzgerät an. Wird sie noch mit einer Übersicht über die am Netztransformatoreinschub C1 abgreifbaren Spannungskombinationen (vgl. *Tabelle 5)* und den für die Spannungsabschätzung wichtigen rechnerischen Beziehungen (vgl. Nr. 3.21) ergänzt, haben wir am Laborplatz alle Daten verfügbar, deren es zum Experimentieren mit dem Labornetzgerät bedarf.
Darüberhinaus haben sich in der Praxis einige Adapter bewährt, die das Abgreifen und Messen von Ausgangsspannungen erleichtern. Es wird nämlich bei eingesteckten Schaltschnüren an den Ausgangsbuchsen des jeweiligen Bausteines immer etwas schwierig, wenn der Strom-/Spannungsmesser oder ein externer Spannungsmesser parallel zum Ausgang geschaltet werden sollen. Für diese kann man mit den in *Bild 119* dargestellten Adaptern wirksame Abhilfe schaffen. Sie sind sehr praktisch und können u.U. (nämlich dann, wenn man auf die zusätzliche Möglichkeit der Zwischenschaltung eines HF-Filters verzichtet) den Gleichspannungsverteiler, Zusatzbaustein F, ersetzen. Der Raum für diesen Einschub läßt sich dann anderweitig nutzen.

2. Erweiterungsmöglichkeiten

4.2 Im Zuge des Aufbaus der einzelnen Bausteine und erst recht, nachdem das Universal-Spannungslabor nun fertiggestellt ist, wird sich sicherlich so mancher die Frage gestellt haben oder stellen, ob es mit der in diesem Bauanleitungsbuch dargestellten Auslegung des Labornetzgerätes sein Bewenden haben muß. Da fällt einem ein, daß mit dem Strom-/Spannungsmesser nur Gleichstrom- bzw. Gleichspannung, nicht aber auch Wechselspannungen gemessen werden können. Der Gedanke, einen Meßgleichrichter einzufügen, der nicht nur hierfür sondern auch bei vielen anderen Gelegenheiten gute Dienste leisten würde, liegt somit nahe.

Werden dem Labornetzgerät häufiger Lastströme über 5 A hinaus abverlangt, sollte es überhaupt etwas mehr in dieser Richtung ergänzt werden. Denkbar ist beispielsweise, daß man einen für diese Ströme dimensionierten Netztransformator als Wechseleinschub in Reserve hält. Dann ist es ebenfalls zweckmäßig, zusätzlich erforderliche Ladekapazitäten in einem Einschub unterzubringen, so daß die Behelfsmäßigkeit ihrer Zuschaltung ein für allemal überwunden wird.
Werden im Hobbylabor auch solche Schaltungsaufbauten entwickelt und getestet, zu deren Inbetriebnahme Hochspannungen erforderlich sind, kann ein Spezialmodul (Netztransformator mit Hochspannungswicklung, Hochspannungsgleichrichter und Spannungsverdopplerstufe) eingesetzt werden, das sich ebenfalls in Einschubform aufbauen läßt.
Wer den Schwerpunkt seines Elektronikhobbys im Verstärkerbau angesiedelt hat, wird darüberhinaus sicherlich an einem Modul interessiert sein, mit dem sich Spannungsanstiegsverzögerungen der Speisespannung erreichen lassen; die mit dem „Ein- und Ausschaltknacks" für die Lautsprecher verbundenen Überlastungsgefahren sind dann endgültig gebannt.
Zu den nützlichen Ergänzungsmoduln können aber auch eine Reihe verbraucherähnliche Einschübe gerechnet werden. Stellvertretend für eine lange Reihe aufzählbarer Moduln seien hier nur folgende Stichworte genannt:

- Ladeautomatiken für Autobatterien und Kleinakkus
- Fahrstromregler für Modelleisenbahnen oder Autorennbahnen
- Schaltuhren ohne und mit Programmsteuerung
- Temperaturregelautomatiken für Kleinlötkolben (Lötstation)
- Dimmermoduln für die Drehzahlregelung von Bohrmaschinen

usw.

Demjenigen, der das Universal-Spannungslabor somit nicht als ein fertiges Gerät sondern als ein weiterentwicklungsfähiges Konzept betrachtet, eröffnet sich also ein breitgefächertes Spektrum an Ergänzungsmöglichkeiten. Nahezu zwangsläufig stellt sich dann u.U. auch die Frage nach einem dritten Gehäuserahmen, in dem solche Ergänzungsmoduln untergebracht werden können. An diesem Punkt allerdings möchte sich der Autor aus dem weiteren Geschehen ausblenden, um dem Leser

freien Lauf zu lassen – sowohl, was die Anwendung des Gerätes in dem Ausbaustadium anbelangt, wie es durch dieses Buch vorgegeben ist, als auch was die individuelle Weiterentwicklung des Gerätekonzeptes selber betrifft.

3. Zum Ausklang

An alle Hobbyelektroniker, die sich dem Nachbau des Universal-Spannungslabors widmen, richtet der Verfasser abschließend eine – wie er meint, verständliche – Bitte. Sie bezieht sich auf mögliche Anfragen zu technischen Einzelheiten, Bauteiledimensionierung, Platinenherstellung und derlei „Schwierigkeiten" mehr, die zu jeder Art von Nachbau nahezu obligatorisch dazugehören. Sofern sich diese Anfragen auf die Reproduzierbarkeit der im Vorangegangenen beschriebenen Leistungsdaten und Meßwerte beziehen, ist er gerne bereit, dem Problem durch eine befriedigende Antwort binnen angemessener Zeit abzuhelfen. Dieser „Service" kann jedoch nur dann aufrechterhalten werden, wenn der jeweiligen Anfrage zugleich ein frankierter Rückumschlag beigefügt wird. In allen anderen Fällen geht der Verfasser davon aus, daß eingehende Adressen als ergänzende Anregungen an ihn selbst gedacht sind. Für diese Anregungen sei daher bereits an dieser Stelle allen Absendern Dank gesagt; und dieser Dank fällt besonders herzlich aus, wenn mit der Anregung zugleich ein wenig von dem sichtbar wird, was die Jünger der Hobbyelektronik miteinander verbindet.

V. Anhang

1. Formeln zum Thema

1. Restwelligkeitsspannung am Ladekondensator C8

$$U_{w1} = \frac{1{,}2 \cdot I_{Last}}{6{,}26 \cdot 100 \cdot C8} \text{ [V]}$$

I_{Last} in Ampere
C8 in Farad

2. Ausgangsspannung am Brückengleichrichter ohne kapazitive oder ohmsche Last

$U_{2=} = \sim U_{1eff} - 1{,}4$ [V] (Näherungswert !)

$\sim U_{1eff}$ = Eingangswechselspannung
$U_{2=}$ = Ausgangsgleichspannung

3. Ausgangsgleichspannung (pulsierend/100 Hz) am Ladekondensator C8

$$U_{3=} = (\sim U_{1eff} - 1{,}4 \text{ V}) \sqrt{2} \text{ [V]}$$

4. Erforderliche Eingangswechselspannung für einen bestimmten Ausgangsgleichspannungswert am Ladekondensator C8

$$\sim U_{1eff} = \frac{U_{3=}}{\sqrt{2}} + 1{,}4 \text{ V } [V_{eff}]$$

5. Berechnung des Gleichspannungsanteils an der Mischspannung am Ladekondensator C8

$$U_{G1} = 0{,}9 \cdot U_{1eff} \text{ [V]}$$

(Näherungswert !)

6. Berechnung des Fühlerwiderstandes für den Strombegrenzungseinsatz der Konstantspannungsregler und der Elektronischen Sicherung

$$R_{Sense} = \frac{0{,}6 \text{ V}}{I_{Last}} \text{ [Ohm]}$$

I_{Last} in Ampere

7. Berechnung der Ausgangsspannung eines Operationsverstärkers bei Schaltung als nicht invertierender Gleichspannungsverstärker (Elektronmeterverstärker, vgl. Bild 67)

$$U_{Reg} = \underbrace{U_{ref}\ (1 + \frac{R1}{R2})}_{\text{Gleichspannungsverstärkung}} \quad [V]$$

8. Berechnung der Ausgangsspannung eines Konstantspannungsreglers mit einer Darlingtonstufe als Längsregler

$$U_{aus} = U_{Reg} - \underbrace{1{,}2 \ldots 1{,}4\ V}_{\text{Spannungsabfall } U_{BE} \text{ an den beiden Transistoren der Darlingtonstufe}} \quad [V]$$

9. Verlustleistung am Längsregeltransistor

$$V = U_{CE} \cdot I_{Last} \quad [W]$$

U_{CE} in Volt
I_{Last} in Ampere

dabei gilt für $U_{CE} = U_{ein} - U_{aus}$
U_{aus} ist mit dem Wert gem. 8. einzusetzen

10. Berechnung des Vorwiderstandes für die Stabilisierung mit Zenerdiode

$$R_V = \frac{U_{ein} - U_Z}{I_Z} \quad [Ohm]$$

U_Z = Nennspannung der Z-Diode
$I_Z \approx 5 \ldots 30$ mA (I_Z soll 3-5 x größer als Betriebsstrom sein)

(Näherungswert !)

Belastbarkeit von R_V

$$P_{RV} = (U_{ein} - U_Z) \cdot I_Z \ [W]$$

Bezugsquellenverzeichnis

Alle in diesem Band verwendeten Bauteile sind handelsüblich und in jedem gut sortierten Elektronikfachgeschäft zu bekommen. Nachfolgend eine Zusammenstellung – die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt – einiger bekannter Fachgeschäfte und Versandfirmen. Darüber hinaus kann auch das jeweilige Branchenfernsprechbuch (Stichwort: Elektronik) herangezogen werden.

MB-electronic (L), Josefstr. 15, 7737 **Bad Dürrheim**
Atzert-Radio (L), Stresemannstr. 100, 1 **Berlin** 61
Merkur-Electronic (L), Albrechtstr. 98, 1 **Berlin** 41
Völkner (LV), Marienbergerstr., Postf. 5320 33 **Braunschweig**
Elektronikladen (LV), Wilhelm-Melliesstr. 88, 493 **Detmold** 18
Arlt-Radio (L), Am Wehrhahn 75, 4 **Düsseldorf**
Radio-Fern-Elektronik (L), Kettwigerstr. 56, 43 **Essen**
Mainfunk (L), H. Wenzel, Elbestr. 30, 6 **Frankfurt/M.**
Balü-Electronic (LV), Burchardplatz 1, 2 **Hamburg** 1
Conrad (V), Schönbrunnerstr. 54, 8452 **Hirschau,** Postf. 121
Schuberth-Electronic-Versand (V), Postf. 260, 866 **Münchberg**
Radio-RIM (LV), Bayerstr. 25, 8 **München** 2
Holzinger-Electronic (LV), Schillerstr. 25, 8 **München** 2
Kleinofen-Elektronik (L), Niederstr. 39 (Hamtorpassage), 404 **Neuss**
Oppermann (LV), Dühlfeld 29, 3051 **Sachsenhagen**
Chr. Weber (LV), Mörikestr. 79, 59 **Siegen** 1
Arlt-Elektronik (L), Katharinenstr. 22, 7 **Stuttgart** 1
Radio-Dräger (L), Sophienstr. 21, 7 **Stuttgart** 1
Penny-Electronic (L), Neckarstr. 86, 7 **Stuttgart** 1
Dahms-Elektronik (LV), Postf. 1120, 6806 **Viernheim**
(L) = Ladenverkauf; (V) = vor allem Versand
Electronic-Shop, Feldbergstr. 142, CH-4057 **Basel**
Electronic-Shop, Meinrad-Lienertstr. 15, CH-8003 **Zürich**
HW-Elektronik (LV), Eimsbütteler Chaussee 79, 2 **Hamburg** 19

Weber-Elektronik, Kurfürstenstr. 20, 49 **Herford**
Conrad (V), Schönbrunnerstr. 54, Postf. 121, 8452 **Hirschau**
Dahms-Elektronik, Griesplatz 12, A-8020 **Graz**
Bühler-Elektronik, Neutorstr. 17, A-5020 **Salzburg**
S-Elektronik, Fiakerplatz 8, A-1030 **Wien**

VI. Sachregister

Adapter für
- Taktfrequenzen 84, 98
- Schaltschnüre 65
- Verbraucheranschluß 212

Ausgangsspannung
- Belastbarkeit 143, 187
- Einstellbarkeit 14, 141, 145 180, 190
- Stabilisierung 13, 119 ff, 135 ff

Ausgangsstrom
- Begrenzung 121

Bauelemente
- Beschaffung 32, 34

Baugruppen/steine
- Anzahl 30
- Zusammenschaltung 63, 208 ff

Bedienelemente
- Befestigung 35
- Berührungsschutz 35, 43
- Beschaffung 32 ff
- Platinenanschlüsse 61

Befestigungsarten
- Bedienelemente 35
- Chassies/Einschübe 40, 59
- Frontplatten 40 ff
- Ladekondensatoren 92

Blockschaltbild 25 ff

Breitbandentstörfilter 18, 51, 189 ff

Dualer Spannungsteiler 29, 189 ff

Einschub
- Abmessungen 38 ff, 44
- Einbau 47 ff
- Elektr. Einbauten 40, 59 ff
- Masseanschluß 53, 55, 59
- Montagebohrungen 41, 59

Einzelschaltbilder 31, 32

Einzelteile 44, 46

Elektronische Sicherung 30, 37, 139 ff

Fehlersuche 211

Frontplatten
- Abmessungen 44, 47
- Anzahl 44
- Befestigung 40 ff
- Beschriftung 42 ff
- Bestückung 42
- Herstellung 58 ff

Galvanische Trennung vom Netz 16

Gehäuserahmen
- Abmessungen 47 ff
- Einbauten, ständige 51 ff
- Materialbedarf 46
- Schutzanstriche 49

Gleichrichter/Netzgleichrichter-
- dimensionierung 80 ff
- einschub 40, 78 ff
- kühlung 80, 92
- zug/züge 78 ff

Gleichspannungsverteiler 29 ff, 162 ff

Halbleiter
- Anschlußbilder 33
- Beschaffung 32, 34
- Fassungen 23, 61

Hebelschalter 210
HF-Festigkeit 18, 102
Hochleistungs-
- kaskade 24, 109
- kühlkörper 23, 34

Hochkonstantspannungsregler 38, 202 ff

Integrierter Spannungsregler (LM/μA723) 13, 120 ff, 135 ff

Konstantspannungsregler 29, 37, 120, 135 ff
Kontrollampen 45
Kurzschluß-
- festigkeit 14, 18, 120 ff
- stecker 109, 119, 158

Labornetzgerät
- Abmessungen 28, 39 ff
- Anforderungen 12 ff
- Endausbaustufe 27
- Grundbausteine 27, 30
- Luftfeuchtigkeit 209
- Platz im Labor 208
- Reihenfolge/Aufbau 35 ff
- Verlustwärmeabfuhr 209
- Zusatzbausteine 27, 30

Ladegleichrichter 80
Ladekondensatoren
- Dimensionierung 80 ff
- Montage im Einschub 40, 91 ff
- Restladungen 209
- Spannungsverhältnisse an den 85 ff
- Spannungsfestigkeit 83, 88

Leistungstransistoren
- Anschlußbild 33
- Verlustleistungsbegrenzung 102 ff

Leiterplatten/Platinen
- Auslegung/Layout 28, 60
- Basismaterial 61
- Herstellung 60
- Laststromführende Leiterbahnen 61
- Lötlackschutz 61
- Verdrahtung 61

Masse/Erdpotential
- Erdfreiheit der Ausgänge 16
- Chassieerdung 23, 34, 39

Miniaturisierung 28
Modultechnik 17, 22

Negative Hilfsspannung 29, 78, 85, 88
Netzanschluß, zus. 56
Netzschaltereinbau 24, 44
Netzspannungs-
- hauptschalter 24, 28, 51 ff
- verteiler 28, 54 ff

Netztransformatoren
- Absicherung, primär 70
- Dimensionierung 66, 68
- Sekundärspannungen 69

– Trenntypen 16, 18
Niederwechselspannungen 28, 75
Nullspannungsnachsetzer 29, 178 ff

Oszilloskop 94

Pulsierende Gleichspannung 21, 95
Puls-Pausen-Verhältnis 107

RC-Netzwerk 29, 93
Restwelligkeit 14, 80 ff
Rückwände der Gehäuserahmen 45, 50, 57

Schaltfehler 22, 209
Schaltfeld 22, 37
Schaltplan 31
Schaltschnüre 22
– Farbgebung 63 ff, 210
– Grundausstattung 37, 63 ff
Spannungs-
– abschätzung am Netzgleichrichter 85 ff
– versorgungszug/züge 24
– vervielfachung 96, 130, 214
Schwingneigung 28
Strom/Spannungsmesser 30, 167 ff

Taktfrequenzen 15, 84, 97
TTL-Festigkeit 18

Variable Last 30, 98 ff
Verdrahtung
– allgemein 35, 61
– Buchsen an Frontplatten 35, 61
– Material 35, 61, 72
– Kabelbäume 92
– RC-Netzwerk 90
– Sekundärwicklungen 19, 74
Verpolungs-
– fehler 22, 144
– schutz 23, 144

Werkzeuge 25

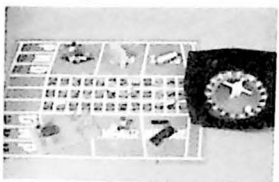
Zusammenschalten von Bausteinen 58 ff, 208 ff
Zusatzbausteine 27

Hobby Elektronik – modern und verständlich

Telekosmos Hobby-Elektronik

Karl-Heinz Biebersdorf

Elektronikspiele - selbstgebaut



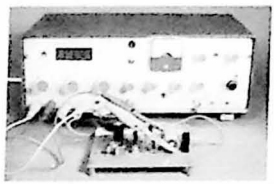
Neun unterhaltsame und spannende Elektronikspiele zum Selbermachen

Roulette, 2 aus 10 (eine Art „Superhirn"), elektronisches Streichholzspiel, Würfel, elektronische Zielscheibe, Trefferanzeige, Miniaturorgel, Sirene und das Digi-Spiel.
84 S., 16 Fotos, 58 Zeichng.
ISBN 3-440-04883-7

Telekosmos Hobby-Elektronik

Waldemar Baitinger

Wir bauen Multimeter



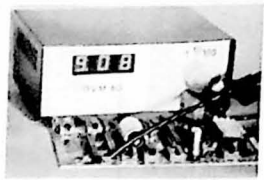
Vielfachmeßgeräte mit Digital- und Analoganzeige
Gleich- und Wechselspannungen (bis 200 V)
Gleich- und Wechselströme (bis 2 A)
Ohmmeter (bis 20 MΩ), Funktionsgenerator u. a. m.

Multimeter-Module können als Einzelgeräte Verwendung finden oder miteinander zum Vielfachmeßgerät kombiniert werden. Ein Buch, das allen Ansprüchen eines Hobby-Elektronikers gerecht wird.
132 S., 8 Fotos, 100 Zeichng.
ISBN 3-440-04843-8

Telekosmos Hobby-Elektronik

Wolfgang Günther

Wir bauen ein Digitalvoltmeter



Analog/Digital-Wandlerverfahren, Funktion und Selbstbau eines 3-stelligen Digitalvoltmeters (1-10-100 V) in IS-Bauweise

Der Autor hat nicht nur eine perfekte Bauanleitung verfaßt, sondern geht auch auf die theoretischen Grundlagen ein. Ätzpläne, Bestükkungspläne und Stücklisten sind natürlich enthalten.
64 S., 10 Fotos, 50 Zeichng.
ISBN 3-440-04884-5

Telekosmos Hobby-Elektronik

Friedhelm Schiersching

Modelleisenbahn - computergesteuert

Von der Planung zur automatischen Steuerung
Von der manuellen Eingabe zum Kleincomputer

Der Mikroprozessor eröffnet heute völlig neue Möglichkeiten. Der Autor hat diese ausgeschöpft und in praktisch anwendbare Schaltungen umgesetzt.
140 S., 12 Fotos, 47 Zeichng.
ISBN 3-440-04882-9

Wie jede Freizeitbeschäftigung hat auch die Hobby-Elektronik ihr eigenes Know-how. Dies dem Modellbahner zu vermitteln, ist die Zielsetzung des vorliegenden großen Bastelbuches.
Friedhelm Schiersching beschreibt deshalb – zugeschnitten auf die Bedürfnisse des Modellbahners – zuerst die Grundtechniken: Die Herstellung gedruckter Schaltungen, das Bestücken und Löten, die Eigenschaften und Behandlung der Widerstände, Kondensatoren und Halbleiter.

Mit diesem Wissen ausgerüstet wird es auch dem elektronisch noch unerfahrenen Modellbahner gelingen, die vielen praktisch einsetzbaren Schaltungen nachzubauen. Hier reicht das Spektrum vom einfachen Zeitschalter bis zur anspruchsvollen Blockstellensicherung, von der Anfahr- und Bremsautomatik bis zur digitalen Geschwindigkeitsanzeige, vom Achszähler bis zum Superfahrpult.
224 S., 32 Fotos, 133 Zeichng.
ISBN 3-440-04889-6

Franckh'sche Verlagshandlung, Postfach 640, Stuttgart

TELEKOSMOS Bücher-Tips

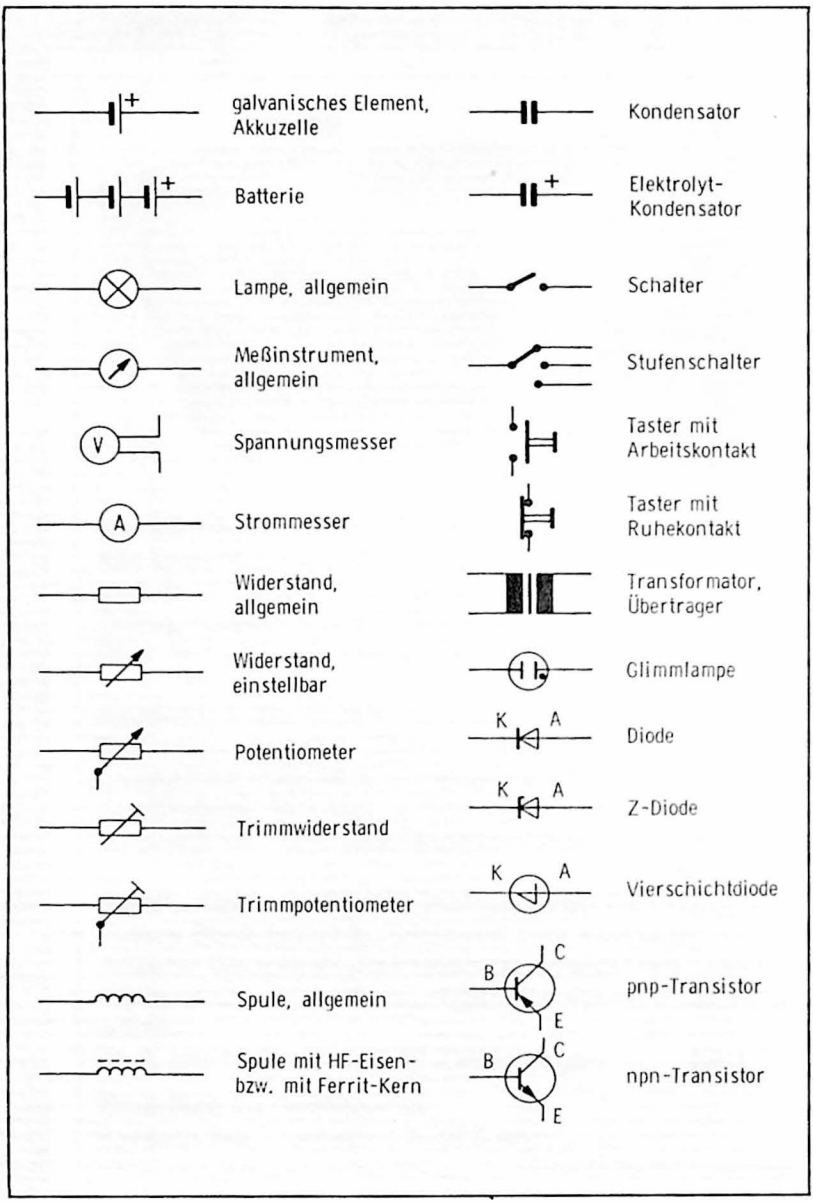
Geräte für den Tonband-Amateur von Richard Zierl
Alle Geräte und Bauanleitungen hat der Autor selbst entwickelt. Schaltskizzen, Verdrahtungspläne, Stücklisten und Bezugsquellen machen den Selbstbau problemlos.
65 S. mit 10 Fotos und 40 Zeichnungen Kart.

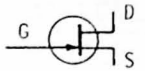
Bastelbuch der Digitalelektronik von Karl-Heinz Biebersdorf
Selbstbau nützlicher und amüsanter Geräte mit digital integrierten Bausteinen der preisgünstigen TTL-Serie SN 74. Ausführliche Stücklisten, Schaltpläne, Bezugsquellen usw.
90 S. mit 16 Fotos und 54 Zeichnungen Kart.

Schaltungen der Digitalelektronik von Karl-Heinz Biebersdo
Dieses Buch bietet Schaltungen zum Kennenlernen (vom Adapter bis zum asynchronen Dezimalzähler), Überprüfen digitaler IC's sowie Anregungen für eigene Schaltungsentwürfe.
60 S. mit 13 Fotos und 50 Zeichnungen Kart.

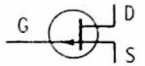
Erhältlich im Buchhandel
Fordern Sie Prospekt 970070 an.

kosmos® **Postfach 640, 7 Stuttgart**

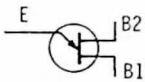

galvanisches Element, Akkuzelle
Batterie
Lampe, allgemein
Meßinstrument, allgemein
V
Spannungsmesser
A
Strommesser
Widerstand, allgemein
Widerstand, einstellbar
Potentiometer
Trimmwiderstand
Trimmpotentiometer
Spule, allgemein
Spule mit HF-Eisen- bzw. mit Ferrit-Kern
Kondensator
Elektrolyt-Kondensator
Schalter
Stufenschalter
Taster mit Arbeitskontakt
Taster mit Ruhekontakt
Transformator, Übertrager
Glimmlampe
K
A
Diode
Z-Diode
Vierschichtdiode
B
C
E
pnp-Transistor
npn-Transistor



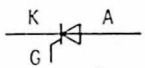
n-Kanal-FET



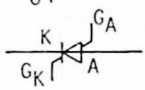
p-Kanal-FET



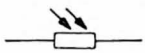
Unijunction-Transistor



Thyristor

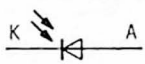


Thyristor-Tetrode

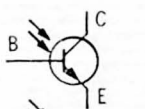


Fotowiderstand

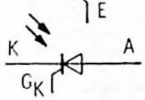
Fotoelement



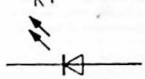
Fotodiode



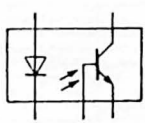
Fototransistor



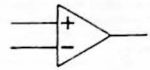
Fotothyristor



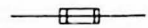
Lumineszenzdiode



Fotokoppler



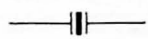
Operationsverstärker



Feinsicherung

Masseanschluß

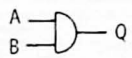
Relaiswicklung



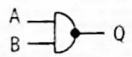
Quarz

Kopfhörer

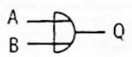
Lautsprecher



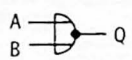
UND-Gatter



NAND-Gatter

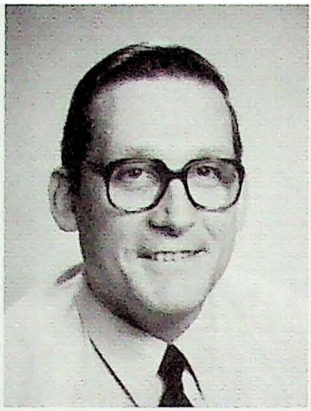


ODER-Gatter



NOR-Gatter

Inverter



Rolf Birkholz, Jahrgang 1940, kam über die Ausbildung zum Fernmeldeoffizier zur Elektronik. Als Lehroffizier konnte er wertvolle praktische Erfahrung sammeln, wie man elektronisches Wissen zeitgemäß und erfolgreich vermittelt. Beruflich befaßt sich Rolf Birkholz mit dem Einsatz modernster Systeme auf dem Gebiet des Funk- und Fernmeldewesens.

Rolf Birkholz
Das große Universalspannungslabor

Zur Grundausrüstung des Hobby-Elektronikers gehört ein Netzgerät, wenn möglich regelbar, mit Strombegrenzung und – natürlich preiswert. Wer außerdem wissen möchte, was im Gehäuse steckt und wie es funktioniert, entscheidet sich für den Selbstbau. Aus diesen Überlegungen heraus entstand »Das große Universalspannungslabor«, das seinen Titel zu recht trägt: Netzteil, Gleichspannungsverteiler, elektronische Sicherung, Nullspannungsnachsetzer, dualer Spannungsmodul, variable Last, Strom-Spannungsmesser sind nur einige der vielen Funktionsteile. Die Einschubbauweise des Spannungslabors stammt aus der professionellen Technik und ist für den Bastler von hohem Wert: die einzelnen Moduln bilden selbständige Einheiten, die Stück für Stück gebaut werden können und in jedem Bauabschnitt ein funktionsfähiges Gerät ergeben. Das Spannungslabor wächst mit den Ansprüchen des Bastlers mit. Ein »Muß« für den Bau aller Einschübe besteht nicht, doch hat der konsequente Hobby-Elektroniker am Ende eine Stromversorgung, die nur noch durch »Vergolden« im Gebrauchswert zu steigern wäre.
Bei allem Baueifer wurde die Erklärung der Funktion und der notwendigen Grundlagen nicht vergessen. So kann dieses Buch auch dem Anfänger guten Gewissens empfohlen werden. Durch die Verwendung unkritischer Bauteile, Bezugsquellennachweis und durch die hervorragenden Aufbaudarstellungen wird der Nachbau problemlos.

Birkholz, Universalsp.
ISBN 3 440 04902 7